



Ricardo Manuel Correia Horta

Construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil Construção

Orientador: Prof. Doutor Miguel P. Amado, Professor
Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Rodrigo de Moura Gonçalves
Arguente: Prof. Doutora Maria Paulina Rodrigues
Vogal: Prof. Doutor Miguel Pires Amado



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro de 2012

“Copyright” Ricardo Manuel Correia Horta, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Prof. Doutor Miguel Pires Amado pelo apoio e orientação que me deu na criação da presente dissertação.

Um especial agradecimento ao Prof. Daniel Aelenei pela preciosa ajuda e disponibilidade.

Um agradecimento especial para a minha família que me apoiou durante todo o meu percurso académico, dando-me força e coragem na vitória sobre as diversas adversidades por mim encontradas. A vós vos devo ter chegado aqui.

Um agradecimento aos meus amigos que me acompanharam durante todos os anos de faculdade.

Agradeço à Ana Mestre, por todo o amor, amizade, apoio, paciência e dedicação que me deu, que sem ela teria sido tudo muito mais difícil.

A todos o meu sincero, MUITO OBRIGADO!

Resumo

Num contexto mundial em que a procura energética tem aumentado, aliado à produção energética através de combustíveis fósseis, um dos principais sectores emissores de gases de efeito de estufa mundiais, têm levado as instâncias governamentais a preparar directivas a fim de minimizar esta conjuntura.

Sendo a indústria da construção civil apontada como uma das actividades menos sustentáveis do planeta e os edifícios um dos grandes responsáveis pelo consumo energético, foram imitadas directivas europeias a fim de diminuir as necessidades energéticas do parque edificado europeu, com principal destaque para o sector habitacional. Assim, são apontados objectivos para aumentar a eficiência energética do parque habitacional, tendo em vista que todos os novos edifícios, a partir de 2020, sejam energeticamente eficientes e de balanço energético quase zero, com principal destaque para a produção energética por fontes renováveis.

Através do estudo do consumo energético em Portugal e da análise de edifícios de balanço energético quase zero já construídos, desenvolveram-se propostas de melhoria da eficiência energética e de aproveitamento das fontes de energias renováveis para produção energética para o parque habitacional português.

Estas medidas foram aplicadas a uma habitação portuguesa e testadas através de um programa de modulação – Ecotect - com a finalidade de verificar a eficiência das medidas adoptadas através da comparação do estado inicial do edifício com a aplicação das características da tipificação da construção portuguesa (sem alteração das características arquitectónicas de projecto), com a implementação das medidas passivas e activas ao edifício.

Desta forma pretende-se comprovar a possibilidade da construção de edifícios habitacionais em Portugal, energeticamente eficientes e de balanço energético quase zero.

O presente trabalho conclui que através da metodologia e das medidas passivas e activas adoptadas, atingiu-se o objectivo proposto para a presente dissertação.

Palavras-chave: Eficiência energética, Necessidades energéticas, Fontes de energias renováveis, Edifícios de balanço energético quase zero

Abstract

In a world where the search for energy has been rising together with energy produced from fossil fuels, one of main emitting sectors of greenhouse gas worldwide, several laws have been prepared by governmental institutions in order to minimize these environmental issues.

The civil construction industry is considered to be one of the least sustainable industries in the planet, and buildings are one of the biggest responsables for energetic consumption. Therefore, some European directives were issued in order to diminish the energetic needs of the European building stock, with main emphasis on the housing sector.

Thus, objectives are presented in order to increase the energetic efficiency of the habitational park and knowing that from 2020 on, all the buildings must be energetically efficient and have an energetic balance of almost zero (zero-energy buildings), obtained mainly by using renewable energy.

Throughout the study of energy consumption in Portugal and the analysis of zero-energy buildings, already built, there were developed recommendations to improve the energetic efficiency and the use of renewable energies to produce energy to the Portuguese habitational park.

These measures were applied in a Portuguese home and tested in a modulation program – Ecotect – with the purpose of verifying the efficiency of the adopted measures, comparing the initial state of the building, with the application of the typification features of Portuguese construction (without changing the architectural features of the project), with the implementation of passive and active measures to building.

As a result, the aim of this work is to prove the possibility of constructing habitational buildings in Portugal, energetically efficient and zero-energy.

The present study concludes that through the methodology and the passive and active adopted measurements, the present study goal was reached.

Keywords: Energetic efficiency, Energetic needs, Renewable energy, Zero-energy building

Índice

Agradecimentos	III
Resumo.....	V
Abstract	VII
Índice.....	IX
Índice de figuras	XIII
Índice de tabelas	XV
Lista de Abreviaturas, siglas e símbolos	XVII
1. Introdução.....	1
1.1. Motivação e enquadramento do tema	1
1.2. Objectivo e metodologia.....	2
1.3 Estrutura do trabalho	2
2. Estado do conhecimento.....	5
2.1. O consumo energético do parque edificado em Portugal	5
2.1.1. Evolução ao longo dos anos	5
2.1.2. Separação do consumo energético por tipo de edifícios	8
2.1.3. Consumo energético no sector doméstico.....	9
2.1.4. Relação das fontes energéticas com os diferentes tipos de utilização.	16
2.1.5. Sistemas construtivos.....	22
2.2. A certificação energética e o seu contributo	27
2.3. A directiva 2010/31/UE e os edifícios de balanço energético quase nulo	31
2.4. A eficiência energética dos edifícios habitacionais.....	33
2.5. O contributo da construção sustentável	33
2.6. Edifícios de balanço energético quase zero.	35
2.6.1. O edifício “Home for Life”	36
2.6.2. O edifício “RuralZED”	45
2.6.3. O edifício “BedZED”.....	51
2.6.4. O edifício “Solarsiedlung”	60
2.7. Síntese do estado de referência	62

3.	Proposta de medidas, parâmetros e comportamentos a adoptar.....	67
3.1.	Soluções passivas	67
3.1.1.	Localização, orientação e forma do edifício	68
3.1.2.	Áreas passivas e a organização do espaço habitacional.....	69
3.1.3.	Revestimento reflexivo da envolvente.....	70
3.1.4.	Isolamento térmico	70
3.1.5.	Inércia térmica.....	71
3.1.6.	Vãos envidraçados.....	72
3.1.7.	Sistemas de sombreamento	74
3.1.8.	Envolvente opaca.....	74
3.1.9.	Ventilação Natural.....	79
3.1.10.	Estratégias de aquecimento passivo.....	81
3.2.	Soluções activas	81
3.2.1.	Colectores solares térmicos.....	82
3.2.2.	Electrodomésticos eficientes	85
3.2.3.	Iluminação artificial.....	86
3.2.4.	Painéis fotovoltaicos	87
3.3.	Conclusão	90
4.	Aplicação e análise do caso de estudo.....	91
4.1.	Apresentação do caso de estudo.....	91
4.2.	O Ecotect e sua aplicação ao caso de estudo.....	92
4.3.	Caso de estudo como modelo representativo de uma habitação tipo em Portugal – Modelo 1	93
4.3.1.	Caracterização da envolvente exterior	93
4.3.2.	Iluminação.....	95
4.3.3.	Equipamentos eléctricos	95
4.3.4.	Electrodomésticos.....	96
4.3.5.	Aquecimento de águas sanitárias.....	96
4.3.6.	Aquecimento do ambiente interior	97

4.3.7. Arrefecimento do ambiente interior.....	97
4.3.8. Análise do modelo habitacional através do Ecotect	97
4.3.9. Balanço energético do Modelo 1	101
4.4. Caso de estudo com a aplicação das medidas estudadas – Modelo 2.....	102
4.4.1. Caracterização da envolvente exterior	102
4.4.2. Análise do modelo habitacional através do Ecotect	103
4.4.3. Iluminação.....	107
4.4.4. Equipamentos eléctricos	108
4.4.5. Electrodomésticos.....	108
4.4.6. Aquecimento de águas sanitárias.....	109
4.4.7. Aquecimento do ambiente interior	110
4.4.8. Arrefecimento do ambiente interior.....	110
4.4.9. Balanço energético do Modelo 2	111
4.4.10. Dimensionamento dos painéis solares fotovoltaicos	111
4.4.11. Balanço energético final do Modelo 2	112
4.5. Discussão dos resultados obtidos	113
5. Conclusões.....	115
5.1. Conclusões gerais.....	115
5.2. Desenvolvimentos futuros	116
Bibliografia.....	119
ANEXOS.....	125
ANEXO I.....	127
ANEXO II	129

Índice de figuras

Figura 2.1 - Taxa de dependência energética [2].....	6
Figura 2.2 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal [2].....	7
Figura 2.3 - Produção bruta de energia eléctrica em Portugal [2]	8
Figura 2.4 - Repartição do consumo de energia final por sector em 2009 [2].....	9
Figura 2.5 - Consumo de energia no sector doméstico, por tipo de fonte, em 2009 [2].....	10
Figura 2.6 - Evolução do consumo no sector doméstico (tep) e peso (%) do consumo doméstico no consumo final total de energia, 1989-2009 [2].....	10
Figura 2.7 - Evolução do consumo de energia total <i>per capita</i> e consumo no sector doméstico <i>per capita</i> (tep/habitante), 1989-2009 [2].....	11
Figura 2.8 - Alojamentos que consomem energia por tipo de fonte em Portugal, 2010 [2]	14
Figura 2.9 - Distribuição do consumo com energia no alojamento por tipo de fonte em Portugal, 2010 [2].	16
Figura 2.10 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização, Portugal, 2010 [2]	17
Figura 2.11 - Distribuição do consumo de energia para aquecimento do ambiente por tipo de fonte - Portugal, 2010 [2].....	18
Figura 2.12 - Distribuição do consumo de energia para aquecimento de águas por tipo de fonte - Portugal, 2010 [2]	19
Figura 2.13 - Distribuição do consumo de energia na cozinha por tipo de fonte - Portugal, 2010 [2].....	20
Figura 2.14 - Distribuição do consumo de electricidade por tipo de utilização – Portugal, 2010 [2]	22
Figura 2.15 - Parede de tijolo simples com isolamento térmico pelo exterior.....	26
Figura 2.16 - Edifício Home for Life [18]	36
Figura 2.17 - Factores tidos em conta no planeamento da Home for Life [18]	37
Figura 2.18 - Plantas do piso térreo e do 1º piso da Home for Life [21].....	38
Figura 2.19 - Posicionamento dos envidraçados e das suas aberturas na Home for Life [24]	40
Figura 2.20 - Concepção energética da Home for Life [24].....	41
Figura 2.21 - Balanço energético da Home for Life [24]	42
Figura 2.22 - Edifício RuralZED [30].....	45
Figura 2.23 - O RuralZED e os seus níveis de sustentabilidade [30].....	46
Figura 2.24 - Plantas do piso térreo, primeiro e cobertura do RuralZED [30].....	47
Figura 2.25 – Edifício BezZED [39]	52
Figura 2.26 - Conjugação arquitectónica entre área residencial com a área trabalho/habitação no BedZED [40]	52
Figura 2.27 - Corte e planta do 1º piso de um quarteirão do BedZED [37].....	53
Figura 2.28 - Comportamento físico do edifício BedZED [38].....	55
Figura 2.29 - Pormenor construtivo das lajes alveoladas de betão armado do BedZED [41].....	57
Figura 2.30 - Pormenor construtivo da laje de cobertura do edifício BedZED [41]	58
Figura 2.31 - Pormenor construtivo do jardim de cobertura [41]	58

Figura 2.32 - Edifício Solardsiedlung [45].....	61
Figura 3.1 - Processo para alcançar o balanço energético quase nulo de um edifício residencial	67
Figura 3.2 - Esquema ilustrativo da correcta orientação de um edifício situado no hemisfério Norte [49].....	68
Figura 3.3 - Definição de área passiva de um edifício [47].....	69
Figura 3.4 - Constituição do sistema ETICS (adaptado de [57]).....	75
Figura 3.5 - Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas	76
Figura 3.6 - Sistema harmónico de janelas [59]	78
Figura 3.7 - Pormenor de funcionamento da chaminé solar [60].....	79
Figura 3.8 - Sistema de ventilação cruzada [52].....	80
Figura 3.9 - Colector solar térmico com sistema de circulação passiva por termossifão [62]	82
Figura 3.10 - Colector solar térmico com sistema de circulação forçada [62].....	83
Figura 3.11 - Esquema de um sistema de circulação forçada com suporte de apoio energético [62].....	84
Figura 3.12 - Modelo da etiqueta energética em electrodomésticos [14].....	85
Figura 3.13 - Comparação dos consumos de energia de uma "Família standard" e uma "Família ecológica" [14].....	86
Figura 3.14 - Insolação global por metro quadrado na Europa [66]	88
Figura 4.1 - Planta do piso térreo (à esquerda) e do piso 1 (à direita) da Moradia Casuarina.....	92
Figura 4.2 - Temperatura média radiante do piso térreo para o dia 21 de Janeiro	98
Figura 4.3 - Temperatura média radiante do piso 1 para o dia 21 de Janeiro	98
Figura 4.4 - Temperatura média radiante do piso térreo para o dia 21 de Julho.....	99
Figura 4.5 - Temperatura média radiante do piso 1 para o dia 21 de Julho.....	99
Figura 4.6 - Nível de iluminação natural anual do piso térreo.....	100
Figura 4.7 - Nível de iluminação natural anual do piso 1	101
Figura 4.8 - Balanço energético do Modelo 1	101
Figura 4.9 - Temperatura média radiante do piso térreo para o dia 21 de Janeiro	104
Figura 4.10 - Temperatura média radiante do piso 1 para o dia 21 de Janeiro	104
Figura 4.11 - Temperatura média radiante do piso térreo para o dia 21 de Julho	105
Figura 4.12 - Temperatura média radiante do piso 1 para o dia 21 de Julho.....	106
Figura 4.13 - Nível de iluminação natural anual do piso térreo.....	106
Figura 4.14 - Nível de iluminação natural anual do piso 1.....	107
Figura 4.15 - Balanço energético do Modelo 2	111
Figura 4.16 - Balanço energético final do Modelo 2	113
Figura 4.17 - Quadro comparativo dos balanços energéticos do Modelo 1 e Modelo 2	113

Índice de tabelas

Tabela 2.1 - Principais indicadores energéticos de Portugal em 2010 [2].....	12
Tabela 2.2 - Caracterização do parque habitacional por ano de construção em Portugal, 2010 [2].....	13
Tabela 2.3 - Caracterização dos alojamentos em Portugal por NUTS I, 2010 [4].....	13
Tabela 2.4 - Consumo total com energia no alojamento em Portugal, 2010 [2].....	14
Tabela 2.5 - Consumo e despesa com a energia no alojamento em Portugal, 2010 [2]	15
Tabela 2.6 - Tipologia de vidros por orientação de fachada em Portugal, 2010 [2]	24
Tabela 2.7 - Número de alojamentos com isolamento térmico em Portugal, 2010 [2]	24
Tabela 2.8 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência e máximos admissíveis de elementos da envolvente ($U - W/m^2°C$), Portugal [9, 10].....	26
Tabela 2.9 - Consumo energético total residencial do BezZED, 2007 [39]	56
Tabela 2.10 - Coeficientes de transmissão térmica do edifício Solarsiedlung [46]	62
Tabela 2.11 - Coeficientes de transmissão térmica dos edifícios Home for Life, RuralZED, BedZED e Solarsiedlung.....	65
Tabela 4.1 - Determinação do consumo médio de energia eléctrica <i>per capita</i> anual [2].....	95

Lista de Abreviaturas, siglas e símbolos

AQS – Águas Quentes Sanitárias;

AVAC – Aquecimento Ventilação e Ar Condicionado;

BREEAM - Building Research Establishment Environmental Assessment Method;

CASBEE - Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency;

CH₄ – Metano;

CO₂ – Dióxido de Carbono;

DGEG – Direcção Geral de Energia e Geologia;

ECBCS – Energy Conservation in Buildings and Community Systems;

EPS – Poliestireno Expandido Moldado;

ETICS - External Thermal Insulation Composite System;

FER – Fontes de Energia Renovável;

GPL – Gás de Petróleo Liquefeito;

HFC – Hidrofluorcarbonetos;

ICB – Aglomerado de Cortiça Expandida;

ICESD 2010 – Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Domestico;

IEA – Agencia Internacional de Energia;

IISBE – Iniciativa Internacional para a Sustentabilidade do Ambiente Construtivo;

LEEDTM – Leadership in Energy and Environment design;

MW – Lã Mineral;

N₂O – Óxido Nitroso;

NZEB – Edifício de balanço energético quase zero;

NUTS – Unidades Territoriais Estatísticas;

PEFC – Programme for the Endorsement of Forest Certification;

PFC – Perfluorcarbonetos;

PIB – Produto Interno Bruto;

RCCTE - Regulamento das características de Comportamento Térmico dos Edifícios;

REN – Rede Nacional de Energia;

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios;

SBTool – Sustainable Building Tool;

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios;

SHC – Solar Heating and Cooling Program;

SF₆ – Hexafluoreto de enxofre;

U – Coeficiente de Transmissão Térmica;

UE – União Europeia;

UE 15 – União Europeia dos 15;

XPS – Poliestireno Expandido Extrudido;

1. Introdução

1.1. Motivação e enquadramento do tema

Numa época em que a comunidade científica alerta permanentemente para as questões ambientais e para a forma insustentável como o ser humano tem vindo a gerir os recursos naturais, criando graves problemas ao planeta, muitos são aqueles que procuram soluções sustentáveis económica, social e ambientalmente para corrigir estes mesmos problemas. As directivas internacionais, apontam cada vez mais a necessidade de lidar com os problemas sociais, políticos e culturais, criando formas para que as futuras gerações assegurem as suas próprias necessidades, evidenciando que os sistemas económicos e sociais não podem ser alheios às questões ambientais.

As alterações climáticas, em grande parte causadas pelas nossas acções diárias, são frequentemente apontadas como o principal problema enfrentado a nível global, sendo o alargado recurso a combustíveis fósseis para produção de energia, um importante factor na equação da libertação de gases de estufa para a atmosfera. O Protocolo de Quioto [1], assumido por 55 países, representa o compromisso de redução das suas emissões de seis gases com efeito de estufa (CO_2 ; CH_4 ; N_2O ; HFC; PFC; SF_6), sendo o seu objectivo maior, reduzir a temperatura global terrestre entre 1,4°C e 5,8°C até 2100. Para isso as principais questões a ter em conta são apontadas no protocolo de forma a guiar os governos nos caminhos mais certos para a resolução do problema. Assim, a indústria da construção civil é apontada como uma das actividades menos sustentável do planeta, consumindo cerca de 50% dos recursos mundiais.

Embora o sector da construção não se restrinja aos edifícios, a ênfase da construção sustentável tem sido colocada na eficiência energética do parque edificado. Isto deve-se principalmente ao facto dos edifícios serem consumidores de energia ao longo de todo o seu período operacional, o que não acontece em obras de infra-estruturas. Em Portugal, o parque edificado é o principal consumidor de energia, sendo responsável, por cerca de 30% dos consumos totais [2].

Temos actualmente ao nosso alcance o conhecimento e a tecnologia necessários para inverter este paradigma, existindo já construídos alguns exemplos de edifícios com balanço energético quase zero. Entende-se como edifícios de balanço energético zero aqueles em que a produção de energia no edifício ou na sua envolvente, iguala as suas necessidades energéticas ao fim do ano, sendo este o objectivo a alcançar na união europeia para os novos edifícios a partir de 2020 [3]. No entanto estas técnicas estão ainda pouco divulgadas tanto junto dos promotores como dos projectistas, que se deixam influenciar pelas ideias erradas de que uma construção sustentável trás custos acrescidos à obra.

Surge assim o desafio de demonstrar como é possível construir edifícios sustentáveis, de balanço energético quase zero.

1.2. Objectivo e metodologia

Através do estudo do consumo energético em Portugal e da análise de edifícios de balanço energético quase zero já construídos, compilando e comparando as medidas adoptadas para garantir a sua eficiência energética e alcançar o balanço energético quase nulo pretendido, propõe-se desenvolver propostas de melhoria da eficiência energética e de aproveitamento das fontes de energias renováveis para produção energética para o parque habitacional português.

Estas medidas serão aplicadas a uma habitação portuguesa pertencente ao bairro Casas de Santo António, localizado junto à Mata Nacional da Machada em Santo António da Charneca [4], testadas através de um programa de modulação – Ecotect - com a finalidade de verificar a eficiência das medidas adoptadas através da comparação do estado inicial do edifício com a aplicação das características da tipificação da construção portuguesa (sem alteração das características arquitectónicas de projecto), com a implementação das medidas passivas e activas ao edifício.

Assim, o objectivo deste estudo, centrado principalmente nos edifícios de habitação, consiste na identificação e definição de estratégias tanto passivas como activas, que quando conjugadas representem uma diminuição significativa dos consumos energéticos ao longo do período de ocupação do edifício. No entanto não se pretende que esta redução de consumos seja alcançada através do recurso a outros tipos de energia fósseis. O objectivo é sim privilegiar a energia eléctrica como a única fonte de energia de um edifício que tem necessidades de energia reduzidas e paralelamente tem ainda a capacidade de produzir a electricidade através de fontes renováveis, que colmatarão as suas necessidades energéticas anuais.

Desta forma pretende-se comprovar a possibilidade da construção de edifícios habitacionais em Portugal, sustentáveis (pela sua eficiência energética) e de balanço energético quase zero.

1.3 Estrutura do trabalho

Para o desenvolvimento da presente dissertação optou-se por dividir o trabalho em cinco capítulos.

No primeiro capítulo definiu-se o enquadramento geral do tema em estudo, abordando-se o problema das alterações climáticas que o planeta tem sofrido e do consumo excessivo de

energia no parque edificado português, sendo a construção de edifício sustentáveis de balanço energético quase zero, uma forma de inversão do panorama actual.

No segundo capítulo fez-se uma análise do consumo energético do parque edificado em Portugal, com principal foco no sector doméstico, onde é analisada a relação das fontes energéticas com os diferentes tipos de utilização e os tipos de sistemas construtivos que este sector apresenta. É também analisado a directiva 2010/31/EU e a sua importância no desenvolvimento e produção de edifícios de balanço energético quase nulo, bem como o contributo que a certificação, a eficiência energética e a construção sustentável apresentam para a temática, finalizando-se o capítulo com o estudo de quatro edifícios de balanço energético quase zero já construídos.

No terceiro capítulo foram descritas as medidas passivas e activas a adoptar num edifício habitacional.

No quarto capítulo será apresentado o caso de estudo distinguem-se os dois modelos a serem analisados, dos quais o Modelo 1, onde são adoptadas as características tipo de uma habitação portuguesa e o Modelo 2, onde foram aplicadas as medidas activas e passivas propostas, tendo-se alcançado o balanço energético quase zero.

No quinto capítulo apresentam-se as conclusões finais do trabalho e definiram-se alguns temas para desenvolvimentos futuros.

2. Estado do conhecimento

“A mudança não assegura necessariamente o progresso, mas o progresso implacavelmente requer mudança” (Henry S. Commager)

2.1. O consumo energético do parque edificado em Portugal

Este capítulo tem como finalidade descrever a evolução do consumo energético do sector residencial em Portugal até à actualidade, fazer uma análise aos consumos registados nos seus vários sectores, tendo objectivo a análise mais aprofundada do consumo de energia no sector doméstico, descrever a relação do consumo energético com os vários tipos de utilização que esta pode ter, analisar a distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de fonte e analisar os sistemas construtivos utilizados no parque habitacional português, de forma a conhecer como a energia é consumida na habitação, que tipos de energia e em que sectores.

Conhecendo o consumo energético afectado ao sector residencial, sua distribuição por sectores, sua distribuição por tipo de fonte e tipo de sistema construtivo dominante, reúnem-se as condições necessárias para a tipificação de uma habitação portuguesa.

2.1.1. Evolução ao longo dos anos

A energia é o factor determinante para o desenvolvimento das sociedades e o pilar para todo o desenvolvimento tecnológico. Para uma sociedade evoluir necessita de recursos humanos, ferramentas, máquinas, conhecimento, tecnologia, matérias-primas e fundamentalmente energia.

Essa energia está disponível na natureza, no mundo onde vivemos, mas infelizmente, as sociedades actuais não conseguiram consumir, de forma sustentável, os recursos energéticos em abundância que no mundo existem, apostando sempre nos combustíveis fósseis. Hoje, mundialmente, vivem-se tempos de crise e incerteza em relação ao futuro energético visto ser necessário uma mudança de hábitos urgente, para que se possa utilizar os recursos duma forma sustentável, equilibrada e duradoura. Portugal não é excepção.

A Directiva 2010/31/UE de 19 de Maio de 2010, vem exercer aos países comunitários exigências e metas a cumprir até 2020, nomeadamente uma redução de consumo de energia primária em 20%, a fim de fomentar uma utilização prudente, eficiente e racional dos produtos petrolíferos, gás natural e combustíveis sólidos, que constituem as principais fontes de energia e as principais fontes de emissão de dióxido de carbono, bem como um aumento do recurso a

energias renováveis para 20% do consumo de energia total da União Europeia, sendo a meta para Portugal de 31%, incorporação de 20% dos biocombustíveis nos carburantes.

Esta exigência tem vindo a ser cumprida. Da análise da Figura 2.1, constata-se que Portugal apesar de possuir uma elevada dependência energética do exterior, cerca de 76,7% no ano de 2010, tem diminuindo essa mesma dependência. Verifica-se, assim, que a taxa tem decrescido desde 2005 até 2010, apesar de em 2008 tenha ocorrido um agravamento em 0.5% em relação a 2007. Verifica-se que de 2005 a 2010 a taxa de dependência energética diminuiu 12.3% [2].

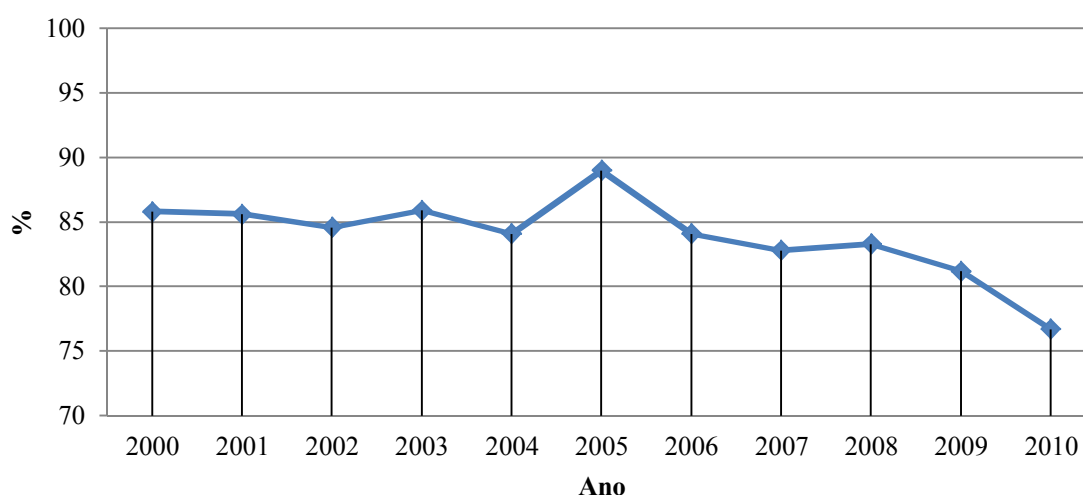


Figura 2.1 - Taxa de dependência energética [2]

Esta elevada taxa de dependência energética é causada pela escassez de recursos energéticos endógenos no país, nomeadamente petróleo, carvão e gás que demonstram ter uma acentuada relevância na sociedade e na economia do país, obrigando assim a importações de fontes energéticas de origem fóssil, o que coloca Portugal numa posição de extrema dependência face a países terceiros.

Segundo a análise da Figura 2.2, que traduz a evolução do consumo de energia primária em Portugal (entenda-se por energia primária todo o recurso energético que se encontra disponível na natureza, como petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa e solar), constata-se que desde 2005 o consumo de energia primária tem diminuído apesar de manter um papel essencial na estrutura de abastecimento energético, detendo 48.7% da cota de consumo total de energia primária em 2010, taxa esta inferior ao ano de 2009 que era de 49.1%, registando assim, em 2010, uma diminuição de 0.4% em relação a 2009.

O gás natural, introduzido no mercado português em 1997, contribui desde então para uma maior diversificação de oferta energética e para uma redução da elevada dependência energética do petróleo. Dados estatísticos recolhidos desde 2000, demonstram uma aceitação do

mercado de forma positiva, tendo em 2010 uma taxa de 19.7% do total de consumo de energia primária, sofrendo um aumento em comparação com o ano de 2009 que tinha uma percentagem de 17.5%.

No caso do carvão mineral e como previsto, houve uma redução desde 2000 até 2010, ano em que registou 7.2% do consumo de energia primária, devido ao impacto que este combustível tem nas emissões de CO₂ para produção de energia eléctrica e às metas estabelecidas pelo protocolo de Quioto, que obriga uma redução nas emissões de gases do efeito de estufa.

As energias renováveis em 2010 apresentavam um contributo de 23.1% no consumo total de energia primária, apresentando 9777.98 MW de potência instalada, tendo aumentando em 3.1% a taxa de 2009 que tinha ficado pelos 20%. É de enaltecer o crescimento da potência instalada em fontes de energias renováveis (FER) registada nos últimos anos para produção de energia eléctrica, favorecendo desta forma a diminuição das necessidades em combustíveis fósseis.

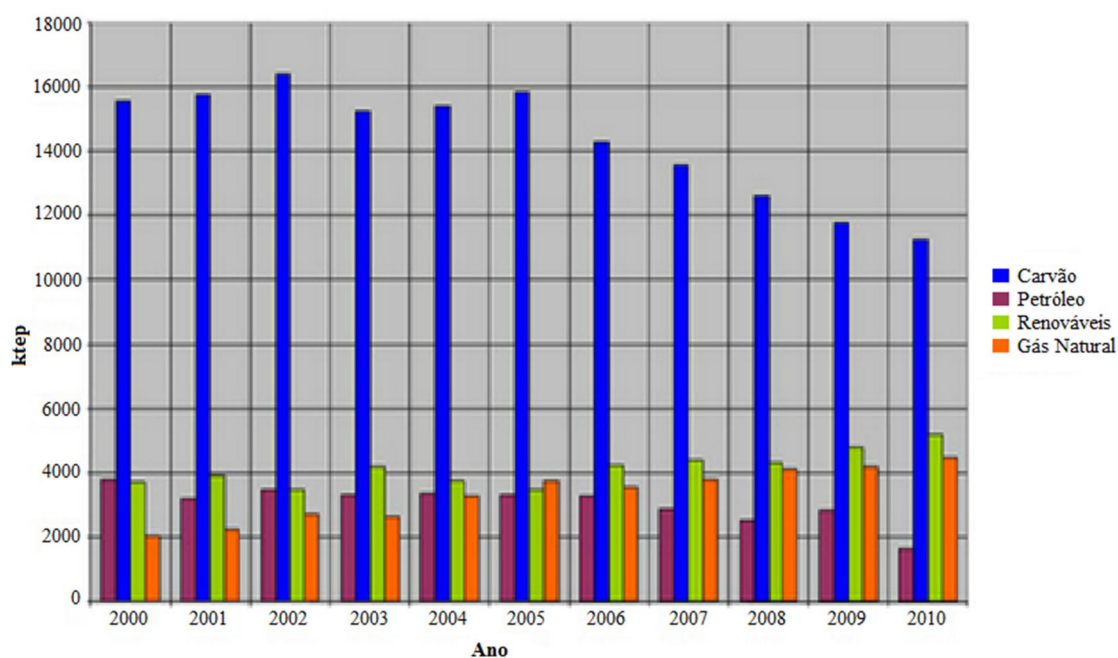


Figura 2.2 - Evolução do consumo de energia primária em Portugal [2]

Através da Figura 2.3 pode-se visualizar a produção bruta de energia eléctrica pelas FER em Portugal de forma detalhada. Da potência instalada em FER, 4917.25 MW são de origem hídrica, 784.5 MW em biomassa, 3911.98 MW em eólica, 30 MW em geotérmica e 134.25 MW de origem fotovoltaica o que conduziu a uma produção de 29566 GWh em energia eléctrica a partir de FER.

De acordo com a mesma fonte, desde o início da década de noventa, o consumo de energia final tem crescido em média 3.2% ao ano, cerca de sete décimas acima da taxa de crescimento médio do produto interno bruto (PIB) registado nesse período.

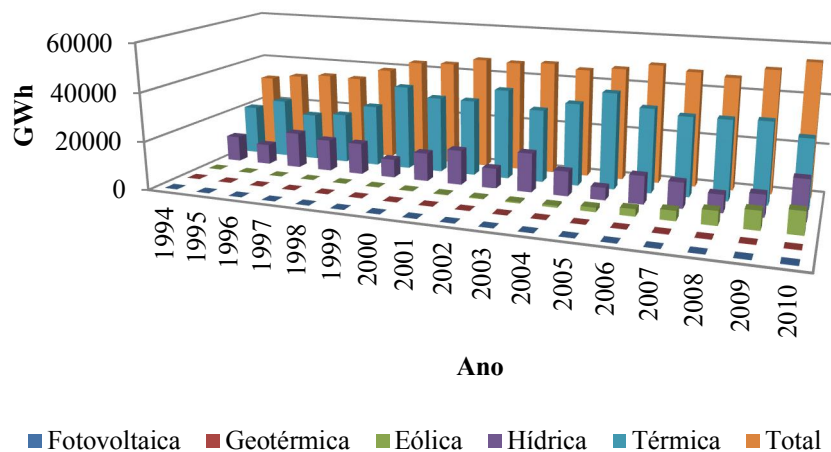


Figura 2.3 - Produção bruta de energia eléctrica em Portugal [2]

Segundo a Agência Financeira, citando um comunicado da agência Lusa [5], Portugal pela primeira vez exportou mais electricidade do que importou nos primeiros cinco meses de 2010, verificando um balanço positivo entre importação eléctrica, de 946 GWh, e exportação eléctrica, de 982 GWh, sendo o balanço final de 36 GWh. No período homólogo de 2009 Portugal tinha um balanço negativo de 2.127 GWh.

Segundo o boletim mensal da REN, a inversão da balança comercial nos primeiros cinco meses de 2010 deveu-se a uma quebra de 61% da importação de energia eléctrica e a um crescimento de 222% nas exportações face ao mesmo período de 2009.

O secretário de Estado da Energia e da Inovação, em declarações à Lusa, afirmou que “pela primeira vez Portugal tem um saldo exportador de energia eléctrica” defendendo que “é um resultado de uma aposta muito forte nas energias renováveis” [5].

Em 2010, Portugal foi o terceiro país da União Europeia (UE15) com maior incorporação de energias renováveis. A posição de Portugal reforçou-se relativamente a 2009, devido ao forte aumento na produção hídrica (86%) e ao acréscimo de 21% na produção eólica. No entanto, a produção de energia eléctrica por fontes de energia renovável é muito dependente das condições climáticas, não apresentando uma produção regular como desejado.

Entre Janeiro e Maio de 2010, as fontes de energia renováveis representaram 70% da produção eléctrica total no período [5].

2.1.2. Separação do consumo energético por tipo de edifícios

O sector doméstico apresenta-se como o terceiro maior consumidor de energia depois do sector dos transportes e da indústria, como mostra a Figura 2.4. É de ser salientado que o consumo de energia no sector doméstico não inclui o consumo de combustíveis nos veículos utilizados no transporte individual dos residentes no alojamento.

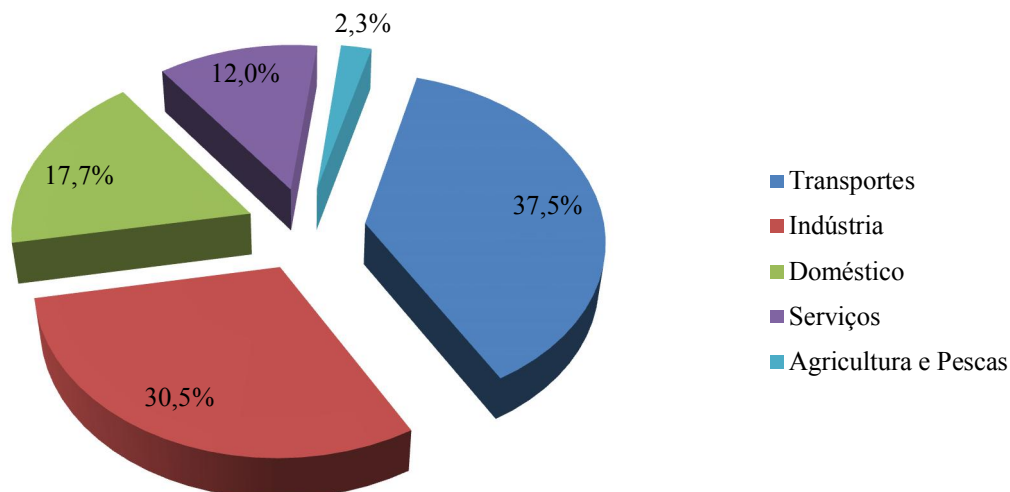


Figura 2.4 - Repartição do consumo de energia final por sector em 2009 [2]

Para o âmbito da presente dissertação importa estudar o consumo no sector doméstico de uma forma mais detalhada em detrimento dos restantes, sendo o sector doméstico o único inserido na temática desta dissertação.

Pretende-se saber, através do estudo ao sector doméstico, qual o seu consumo energético, quais os sectores consumidores de energia, como será a distribuição por esses sectores, que equipamentos possuem e que tipos de energia gastam, por forma a quantificar os gastos energéticos nas habitações portuguesas.

2.1.3. Consumo energético no sector doméstico

Nos últimos 15 anos ocorreu em Portugal, pelas famílias ao nível do sector doméstico, uma alteração de hábitos de consumo de energia, de acordo com os resultados obtidos pelo Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico realizado em 2010 (ICESD 2010) referentes ao período de Outubro de 2009 a Setembro de 2010.

Para o período de referência referido, o consumo de energia totalitário foi estimado em 5902024 tep, dos quais somente 49,1% representa a energia afectada exclusivamente aos alojamentos, o que equivale a 2916026 tep, sendo que por alojamento o consumo médio anual total de energia foi de 0,742 tep [2].

Analisando o consumo de energia por tipo de fonte no sector doméstico, a electricidade aparece como a principal fonte energética, representando 42,6% do consumo total energético, sofrendo a maior variação relativa aos inquéritos de 1989 e de 1996 que registaram 15,8% e 27,5%, respectivamente, no consumo global energético. A lenha é a segunda fonte principal

com 24,2% do consumo, verificando uma queda bastante significativa, visto representar 60,3% em 1989 e 41,9% em 1996 do consumo energético nos alojamentos portugueses.

Verifica-se, presentemente, o papel preponderante que a energia eléctrica tem no sector residencial, visto que a maioria dos equipamentos utilizados nas habitações requer energia eléctrica para o seu funcionamento, existindo actualmente uma enorme dependência da nossa sociedade por esta fonte energética. O consumo de electricidade está directamente associado ao conforto térmico e ao aumento do número de electrodomésticos presentes em cada habitação, registando um consumo médio de 0,316 tep, no dado período de referência.

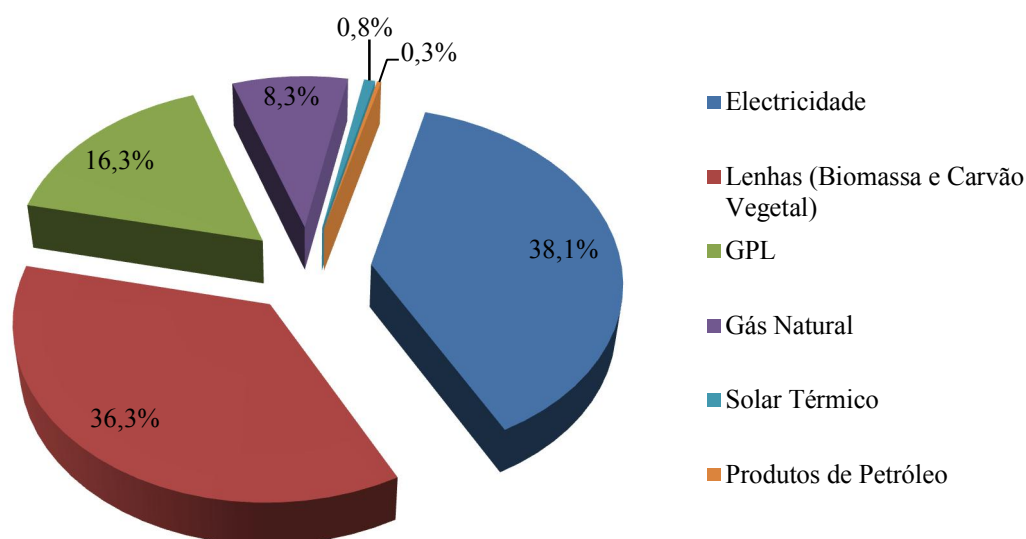


Figura 2.5 - Consumo de energia no sector doméstico, por tipo de fonte, em 2009 [2]

Na Figura 2.6 podemos acompanhar a evolução energética no consumo doméstico e o peso deste no consumo final de energia entre os anos de 1989 e 2009.

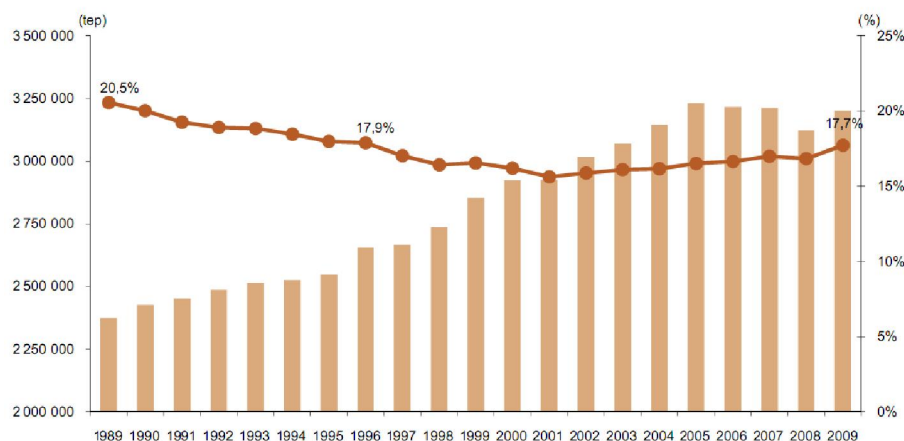


Figura 2.6 - Evolução do consumo no sector doméstico (tep) e peso (%) do consumo doméstico no consumo final total de energia, 1989-2009 [2]

Da análise da Figura 2.6, pode-se concluir que, em 2009, o peso do consumo energético doméstico representa 17,7% do total do consumo final de energia. Em termos globais, este consumo tem decrescido a uma taxa de 1,5% ao ano, mas analisando de uma forma intervalada, esta variação está dividida em dois períodos distintos. De 1989 a 2001 o consumo energético doméstico sofreu uma quebra, inflectindo a partir daí a sua variação, tornando a aumentar o seu consumo até 2009.

Regista-se, em termos de consumo global no sector doméstico, uma tendência de crescimento até 2005, ano em que ocorreu uma inversão no consumo global, tendo ocorrido uma quebra no consumo em 2008 e uma recuperação em 2009.

Em 2009, o consumo de energia no sector doméstico *per capita* foi de 0,30 tep por habitante. A variação ocorrida neste indicador foi em média de 1,4% relativamente ao período de 1989 a 2009, registando um decréscimo a partir de 2006, voltando a crescer em 2009 e quase alcançando os valores registados em 2007.

Segundo os dados estatísticos da IEA [6], o consumo de energia eléctrica *per capita* entre 2008 e 2012 estima-se em 4929 kWh/ano.

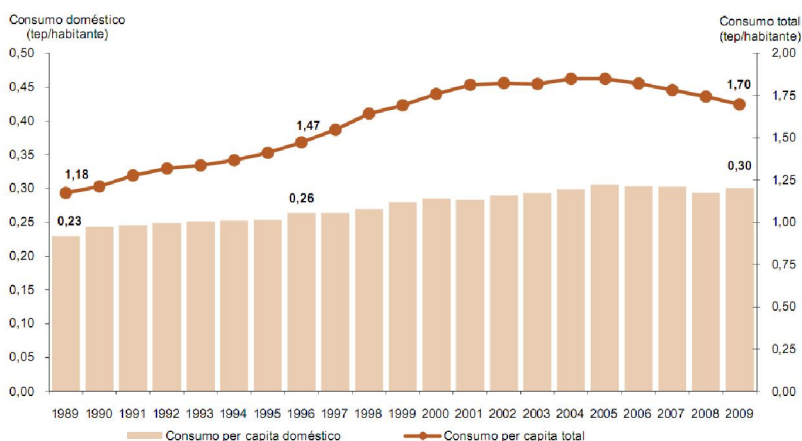


Figura 2.7 - Evolução do consumo de energia total *per capita* e consumo no sector doméstico *per capita* (tep/habitante), 1989-2009 [2]

Importa referir que os dados recolhidos só contabilizam os alojamentos familiares de residência principal, excluindo os alojamentos familiares secundários ou de uso sazonal.

Na Tabela 2.1 podem ser visualizados os principais indicadores energéticos de Portugal para 2010.

No indicador que mostra a percentagem de consumo de energia dos equipamentos eléctricos no sector doméstico foram excluídos os equipamentos para aquecimento e arrefecimento do ambiente, bem como os electrodomésticos afectados ao sector da cozinha.

No que se refere à área média aquecida por alojamento e consumo por área aquecida só foram considerados os alojamentos que utilizaram aparelhos para aquecimento do ambiente. De igual forma só foram considerados os alojamentos que utilizaram aparelhos para arrefecimento

do ambiente no que se refere à área média arrefecida por alojamento e ao consumo por área arrefecida. Importa ainda salientar que a área média de colectores solares térmicos por alojamento só se refere aos alojamentos com esse tipo de colectores.

Tabela 2.1 - Principais indicadores energéticos de Portugal em 2010 [2]

Indicador	Unidades	Valor
Alojamento		
Consumo médio anual total de energia por alojamento	tep/alojamento	0,742
Electricidade	tep/alojamento	0,316
Lenha	tep/alojamento	0,18
GPL Garrafa Butano	tep/alojamento	0,101
GPL Garrafa Propano	tep/alojamento	0,022
GPL Canalizado	tep/alojamento	0,018
Gás Natural	tep/alojamento	0,067
Gasóleo de Aquecimento	tep/alojamento	0,032
Solár Térmico	tep/alojamento	0,005
Carvão	tep/alojamento	0,002
Consumo médio anual de electricidade por alojamento	kWh/alojamento	3673
Consumo médio anual de gás natural por alojamento	kWh/alojamento	779
Consumo médio anual de fontes de energia renovável por alojamento	tep/alojamento	0,186
Despesa média anual com energia por alojamento	€/alojamento	840
Despesa média anual com electricidade por alojamento	€/alojamento	523
Despesa média anual com gás natural por alojamento	€/alojamento	49
Emissões de gases com efeito de estufa por alojamento	kgCO ₂ /alojamento	628
Outros		
Percentagem de fontes de energia renováveis no consumo energético no alojamento	%	25,1
Percentagem do consumo de energia para aquecimento do ambiente no consumo doméstico	%	21,5
Percentagem do consumo de energia para arrefecimento do ambiente no consumo doméstico	%	0,5
Percentagem do consumo de energia para aquecimento de águas no consumo doméstico	%	23,5
Percentagem do consumo de energia na cozinha no consumo doméstico	%	39,1
Percentagem do consumo de energia dos equipamentos eléctricos no consumo doméstico	%	10,9
Percentagem do consumo de energia para iluminação no consumo doméstico	%	4,5

Apesar de se ter um consumo médio anual total de energia por alojamento, sabemos que a idade de um alojamento é um factor determinante tanto em termos de necessidades energéticas para uso corrente, como também para aquecimento e arrefecimento dos mesmos devido a perdas e ganhos energéticos. Há desta forma uma afectação no consumo energético pela idade de uma

residência, sendo esperado que num edifício mais antigo as perdas de energia sejam maiores do que num edifício mais recente, construído com tecnologias construtivas mais eficientes, como regulamenta o RCCTE. A época de construção de um edifício é, desta forma, uma variável extremamente importante na análise do consumo dos consumos energéticos no parque habitacional, levando em conta as políticas e medidas adoptadas quanto à eficiência energética.

Tabela 2.2 - Caracterização do parque habitacional por ano de construção em Portugal, 2010 [2]

Ano	Total			Moradia			Apartamento		
	Nº de alojamentos	Nº de indivíduos	Área total (m ²)	Nº de alojamentos	Nº de indivíduos	Área total (m ²)	Nº de alojamentos	Nº de indivíduos	Área total (m ²)
Até 1945	295 652	652 987	25 372 088	213 794	492 431	19 017 796	81 858	160 556	6 354 291
1946 a 1960	382 501	870 171	31 312 268	241 013	541 060	20 357 890	141 488	329 112	10 954 378
1961 a 1970	539 710	1 330 276	48 485 677	289 163	711 824	26 241 850	250 547	618 452	22 243 827
1971 a 1980	820 185	2 094 346	82 569 913	381 607	981 741	42 340 057	438 578	1 112 605	40 229 856
1981 a 1990	693 795	2 011 742	79 460 947	346 069	1 047 888	44 383 036	347 725	963 854	35 077 911
1991 a 1995	458 900	1 410 690	54 882 343	185 844	613 167	27 227 030	273 057	797 523	27 655 313
1996 a 1999	317 460	942 158	39 599 331	133 714	437 840	20 183 172	183 746	504 318	19 416 159
2000 e seguintes	423 807	1 325 343	57 558 241	228 625	760 918	34 658 247	195 183	564 425	22 899 994
Total	3 932 010	10 637 713	419 240 807	2 019 829	5 586 869	234 409 077	1 912 181	5 050 844	184 831 730

Dos resultados do Inquérito ao Consumo de Energia e Geologia 2010 [2], apenas 7,5% dos alojamentos, em Portugal, foram construídos antes de 1946 e 10,8% após 2000. A habitação em Portugal, tendo por base o número total de alojamentos em Portugal de 3932010, apresenta uma área média a rondar os 107 m²/alojamento com um número médio de habitantes por alojamento de 2,7.

Tabela 2.3 - Caracterização dos alojamentos em Portugal por NUTS I, 2010 [4]

NUT	Nº de alojamentos	Nº de indivíduos	Ocupação média	Área total	Área média
			ind/aloj	m ²	m ² /aloj
Portugal	3 932 010	10 637 713	2,7	419 240 807	107

No que diz respeito a condições básicas de habitabilidade dos alojamentos, constata-se que 99,9% das habitações possuem electricidade da rede pública e 99,4% têm água canalizada, em que destas 87,2% têm ligação à rede pública e 97,5% dispõem de água quente canalizada [2].

Em relação à utilização de gás nas habitações, 95,5% das mesmas consomem esta fonte de energia, das quais 21,1% possuem ligação à rede de gás natural, 10,3% têm ligação à rede de

GPL canalizado e 70,5% dos alojamentos utilizam GPL em garrafa, existindo situações em que alguns alojamentos utilizam gás canalizado e GPL garrafa simultaneamente. Note-se que só o Continente tem instalada uma rede de gás natural, ao contrário das regiões autónomas [2].

Tabela 2.4 - Consumo total com energia no alojamento em Portugal, 2010 [2]

NUT	Consumo total		Despesa total	Consumo por alojamento ⁽¹⁾	
	tep	GJ	€	tep/ alojamento	GJ/ alojamento
Portugal					
Alojamento	2 916 026	122 078 824	3 304 280 180	0,742	31,0

Em Portugal, a principal fonte de energia é a electricidade, sendo também a mais utilizada no sector doméstico, utilizada em 99,9% dos alojamentos, como se pode observar Figura 2.8. O consumo total de electricidade, no período de referência, rondou os 14442 milhões de KWh, correspondendo a 1,2 milhões de tep [2].

A electricidade é assim, a fonte de energia que tem maior peso na factura energética do sector doméstico português, dado que, em relação à despesa global nos edifícios representa 62,2% da mesma, ou seja, 42,6% do consumo global [2].

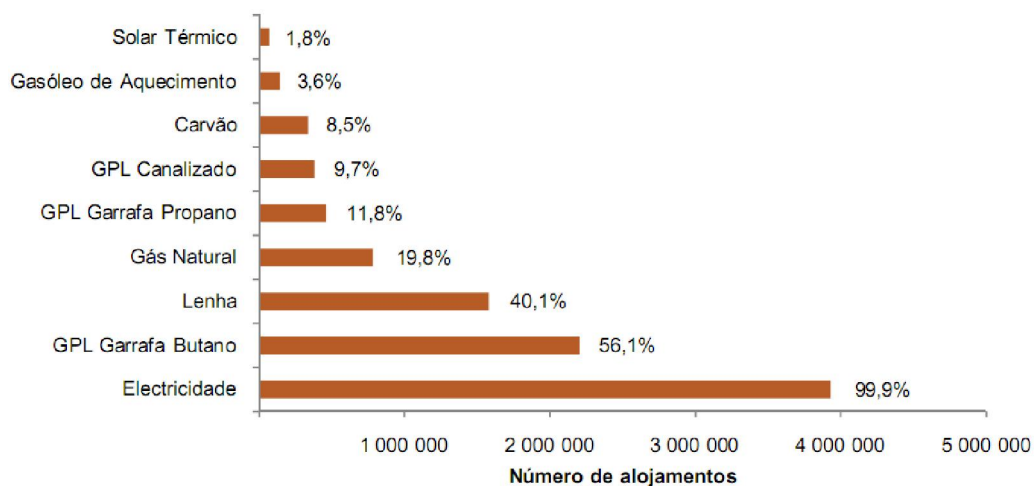


Figura 2.8 - Alojamentos que consomem energia por tipo de fonte em Portugal, 2010 [2]

Em termos de utilização, logo após à electricidade surge o GPL garrafa butano com uma utilização em 56% dos alojamentos e a lenha com 40%. No que se refere ao teor energético, a lenha ocupa o segundo lugar precedida da electricidade, com um consumo total de 706000 tep [2].

O gasóleo de aquecimento, apesar de ter uma reduzida utilização nos alojamentos, detendo uma cota de 3,6%, apresenta um elevado custo na factura energética dos alojamentos

em relação ao consumo sendo o seu custo e aplicação doméstica factores determinantes para a sua baixa utilização residencial [2].

Tabela 2.5 - Consumo e despesa com a energia no alojamento em Portugal, 2010 [2]

Fonte	N.º de alojamentos que consomem energia	Consumo total			Despesa total	Consumo por alojamento		Despesa por alojamento
		Consumo	unidades	tep	€	tep/ alojamento	GJ/ alojamento	€/ alojamento
Electricidade	3 927 733	14 442 104 354	kWh	1 242 021	2 056 019 558	0,316	13,2	523
Lenha	1 576 694	2 802 729 941	kg	705 875	113 924 402	0,448	18,7	171
GPL Garrafa Butano	2 206 050	360 531	t	396 115	570 930 745	0,180	7,5	259
GPL Garrafa Propano	463 453	79 857	t	87 738	144 385 726	0,189	7,9	312
Gás Natural	780 442	3 064 031 852	kWh	263 507	193 965 092	0,338	14,1	249
GPL Canalizado	380 838	64 280 223	kg	70 625	112 990 922	0,185	7,8	297
Gasóleo Aquecimento	142 462	146 347 071	l	124 636	105 291 237	0,905	36,6	765
Solar Térmico	68 824	19 105	tep	19 105	//	0,278	11,6	//
Carvão	334 814	10 430 037	kg	6 404	6 772 498	0,020	0,8	21
Total	3 932 010	//	//	2 916 026	3 304 280 180	0,742	31,0	840

Entre todas as fontes de energia, a lenha apresenta-se como a mais rentável apresentando um menor custo unitário face às suas rivais, pois apresenta uma relação entre consumo (tep) com a despesa (euros) mais reduzida, visto ter um consumo relativo de 24,2% correspondente a apenas 3,4% da despesa global [2].

Como terceira fonte energética surge o GPL garrafa, sendo 81,9% de gás butano e os restantes 18,1% de gás propano. O GPL canalizado tem uma menor expressão, ficando apenas pelos 2,4% do consumo total. Desta forma, o consumo global de GPL é estimado em 19%. Inexistente nas regiões autónomas, o gás natural representa no Continente 9% do consumo global [2].

No panorama português, o carvão detém um peso reduzido no consumo energético no sector doméstico, correspondendo apenas a 0,2% do consumo total e da despesa. Mesmo assim, 94% do carvão consumido é carvão vegetal, representando assim uma importante fonte renovável de energia [2].

Com uma expressão reduzida aparece a energia solar térmica com 0,7% do consumo global, como pode ser observado na Figura 2.9, sendo que em termos de fontes de energia renováveis (carvão vegetal, lenha e solar térmico) o consumo de energia no sector doméstico referente a este tipo de fonte corresponde a 25% do consumo energético total no sector doméstico, tendo já sido observado que a lenha tem o contributo preponderante nesta matéria [2].

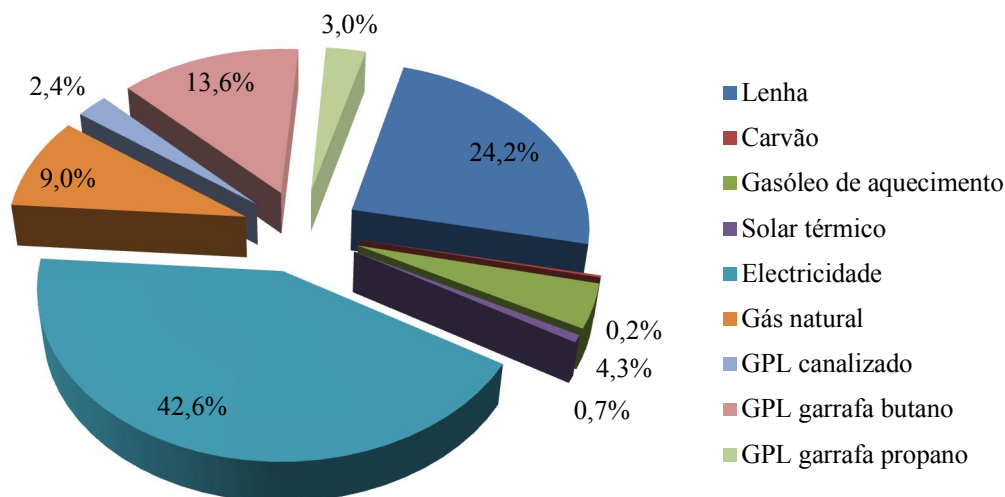


Figura 2.9 - Distribuição do consumo com energia no alojamento por tipo de fonte em Portugal, 2010 [2].

2.1.4. Relação das fontes energéticas com os diferentes tipos de utilização.

O utilizador de uma habitação é o responsável directo pelos gastos energéticos da sua habitação. É da forma como o utilizador interage com a habitação e vice-versa, que o consumo energético é menor ou maior. Ora vejamos, durante o Verão um individuo chega a casa e sente-se com calor, provocando assim uma sensação de desconforto. Rapidamente o individuo é impulsionado para repor a sua sensação de conforto, ou seja, o ligar de uma ventoinha ou de um aparelho de ar condicionado seria o comportamento mais comum de se prever. Desta forma o utilizador da habitação estaria a provocar gasto de energia. Se olharmos de uma forma mais generalista, todos os dias nós temos fome, necessidades de higiene e alimentação, necessidades de aquecimento ou de arrefecimento e de simples lazer.

Importa, assim, estudar os gastos energéticos que ocorrem nos edifícios de forma a percebermos como os gastos ocorrem, onde ocorrem e que aparelhos são responsáveis por isso, de forma a quantificar os consumos médios dos edifícios de habitação.

De acordo com o Inquérito ao Consumo de Energia e Geologia 2010 [2], foram considerados seis tipos de utilização energética nas habitações, sendo estes: aquecimento do ambiente, arrefecimento do ambiente, aquecimento de águas, cozinha, equipamentos eléctricos e iluminação. Na cozinha estão incluídos aparelhos como fogão com forno, placa, forno independente, fogareiro, lareira, microondas, exaustor/extractor, frigorífico com e sem congelador, combinado, arca congeladora, máquina de lavar loiça, máquina de lavar e secar roupa, máquina de lavar roupa e máquina de secar roupa, enquanto os equipamentos eléctricos

incluem aspirador, aspiração central, ferro de engomar, máquina de engomar, desumidificador, televisão, rádio, aparelhagem, leitor de DVD, computador, impressora e impressora/fax.

O consumo total de energia na globalidade dos alojamentos portugueses foi estimado em 2916026 tep, que repartido pelo tipo de utilização irá organizar nos sectores consumidores de energia disponibilizado na Figura 2.10 [2].

Da análise da Figura 2.10 constata-se que o maior consumo de energia regista-se na cozinha, correspondendo a 39,1% do total, seguindo-se o aquecimento de águas com 23,5%. Por oposição, o arrefecimento do ambiente e iluminação, 0,5% e 4,5% respectivamente, representam o menor gasto energético nos alojamentos [2].

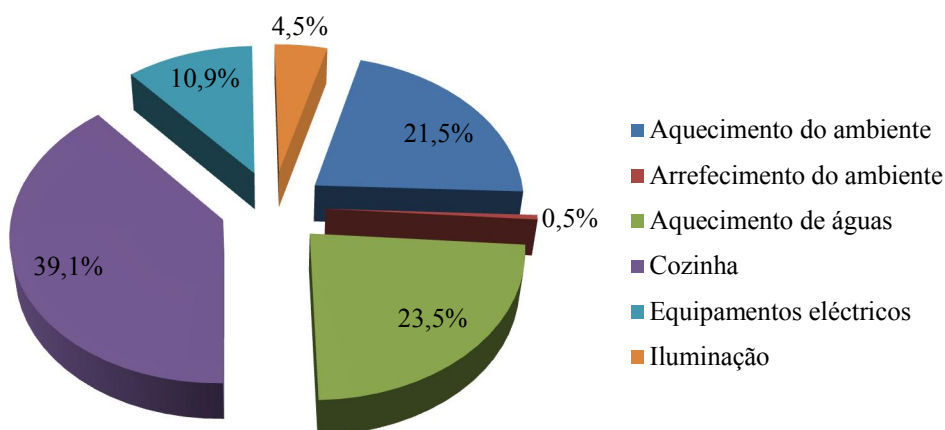


Figura 2.10 - Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de utilização, Portugal, 2010 [2]

As principais fontes de energia utilizadas para o aquecimento do ambiente, Figura 2.11, por ordem decrescente de importância de consumo, foram a lenha, o gasóleo de aquecimento, a electricidade e o GPL garrafa butano. Desta forma, a lenha surge como a fonte energética de principal relevo, por representar 68% do consumo total de energia no aquecimento do ambiente. A área média aquecida por alojamento, tendo somente em conta os que utilizaram equipamentos para aquecimento do ambiente nas habitações, foi de 50,6 m²/alojamento para um consumo médio de 0,0037 tep/m².

No entanto e apesar dos consumos energéticos serem mais elevados na lenha e no gasóleo de aquecimento, não está directamente relacionado com os equipamentos presentes nos alojamentos para esse efeito.

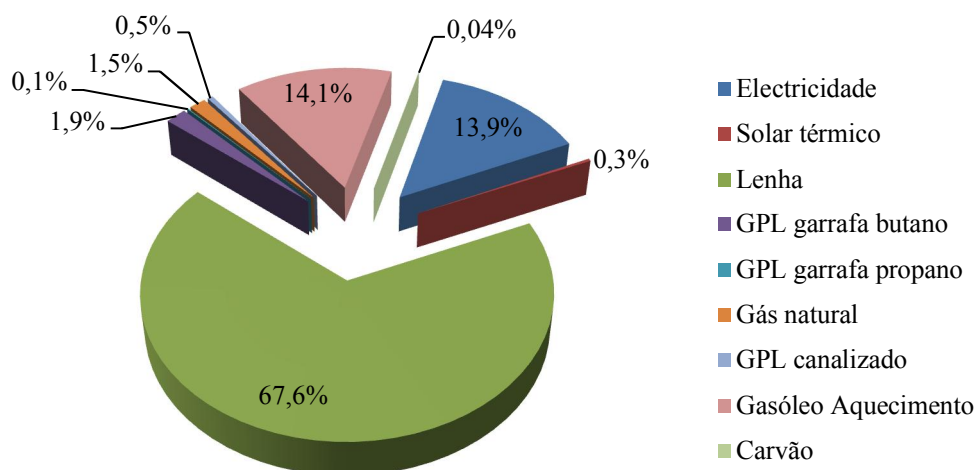


Figura 2.11 - Distribuição do consumo de energia para aquecimento do ambiente por tipo de fonte - Portugal, 2010 [2]

No total dos alojamentos portugueses somente em 78,3% dos alojamentos utilizam sistemas de aquecimento do ambiente. O aquecedor eléctrico independente foi o equipamento mais utilizado para o efeito, existindo em 61,2% dos alojamentos que utilizam equipamentos para aquecimento do ambiente, em que 80% destes possuem termóstato, característica importante quando se pretendem evitar desperdícios energéticos. Seguem-se as lareiras abertas e as lareiras com recuperador de calor, com uma utilização de 24% e 11,1%, respectivamente [2]. No entanto, um alojamento pode ter mais do que um tipo de equipamento para o aquecimento do ambiente interior dos edifícios.

Em relação ao aquecimento de águas, Figura 2.12, o consumo reparte-se por todos os tipos de energia, à excepção do carvão, tendo maior expressão o gás natural e o GPL em garrafa butano, correspondendo o aquecimento de água à segunda maior utilização energética, com um total de 658266 tep, aproximadamente, consumidos no período de referência.

Para o aquecimento de águas, o equipamento mais utilizado no sector doméstico é o esquentador, estando presente em 78,6% dos alojamentos que utilizam equipamentos para este fim. A capacidade média dos esquentadores é de 14 litros por minuto. As caldeiras e termoacumuladores, usados em 11,9% e 11,2%, respectivamente, dos alojamentos referidos apresentam assim uma considerável expressão em termos de utilização [2].

Em 56,8% dos alojamentos em que as caldeiras se encontram instaladas, têm exclusivamente a função de aquecimento de água para aquecimento do ambiente, através da ligação ao aquecimento central, sendo a biomassa a fonte energética mais utilizada para o seu funcionamento. Nos restantes 43,2% dos alojamentos, as caldeiras são independentes do aquecimento central [2].

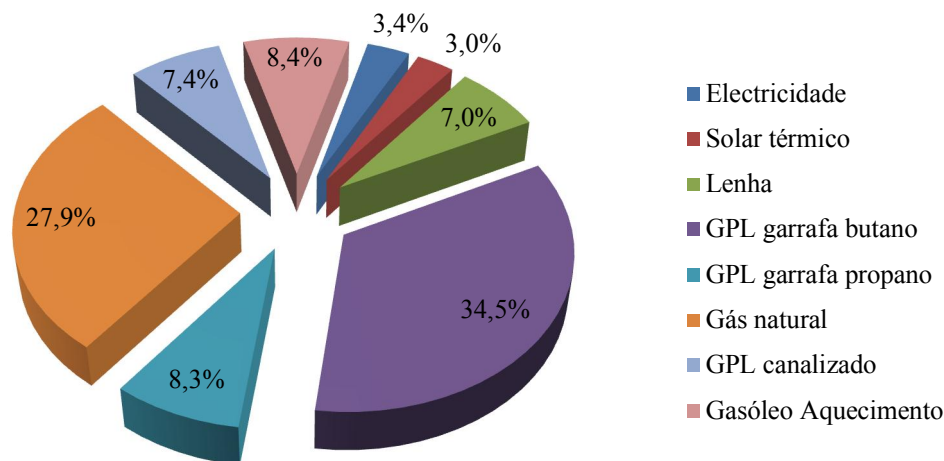


Figura 2.12 - Distribuição do consumo de energia para aquecimento de águas por tipo de fonte - Portugal, 2010 [2]

No que toca ao aquecimento de águas por via de fontes renováveis, nomeadamente através de painéis solares térmicos, ainda se regista uma baixa utilização deste tipo de equipamentos, sendo que, em termos médios, estes painéis apresentam uma área de painéis instalados de $3,8 \text{ m}^2$ por alojamentos que os utilizam, predominando os sistemas com sifão, que utilizam electricidade como energia de apoio em casos de insuficiência calórica da energia solar, para atingir a temperatura necessária para o seu normal funcionamento.

Com uma utilização bastante redutora aparece o arrefecimento do ambiente, tendo desta forma a mais pequena parcela afectada ao consumo energético de todas as utilizações, representando 0,5% do total de energia consumida nas habitações. Considerando apenas os que utilizam equipamentos para arrefecimento do ambiente, a área media arrefecida por alojamento centra-se nos $35,2 \text{ m}^2$ /alojamento para um consumo médio por área arrefecida de $0,0004 \text{ tep/m}^2$.

Somente 22,6% dos alojamentos contabilizados do Inquérito ao Consumo de Energia e Geologia 2010 [2] apresentam equipamentos para arrefecimento do ambiente interior dos alojamentos, apresentando um consumo energético de 12405 tep no referenciado período, sendo a electricidade a fonte energética usada para o funcionamento dos equipamentos. Foram contabilizados três tipos de equipamento para esta função: o ventilador, a bomba de calor que corresponde a um aparelho de ar condicionado com a dupla função de aquecimento e arrefecimento do ambiente e o aparelho individual de ar condicionado, que se distingue da bomba de calor funcionando apenas para arrefecimento do ambiente, que apresentam uma utilização de 69,5%, 26% e 7,2% respectivamente, nos alojamentos. Importa referir que apenas 19,2% dos ventiladores e 60,9% dos aparelhos de ar condicionados individuais apresentam termóstato.

No que respeita ao período de funcionamento destes equipamentos, em 55% dos casos, funcionam durante a noite das 18 horas às 8 horas, o que geralmente coincide com o período de ocupação das residências.

Através da análise da Figura 2.10, verifica-se que é a cozinha que tem maior consumo energético (1140166 tep), apresentando-se como a principal utilização doméstica de energia. Neste sector foram utilizadas todas as fontes de energia exceptuando a solar térmica e o gasóleo de aquecimento, sendo a electricidade a principal fonte energética correspondendo a cerca de 34,2% do consumo total, seguida da lenha com 30,1%, que apresenta uma utilização muito próxima da electricidade e o GPL garrafa butano, responsável por 19% do consumo total na cozinha, como mostra a Figura 2.13.

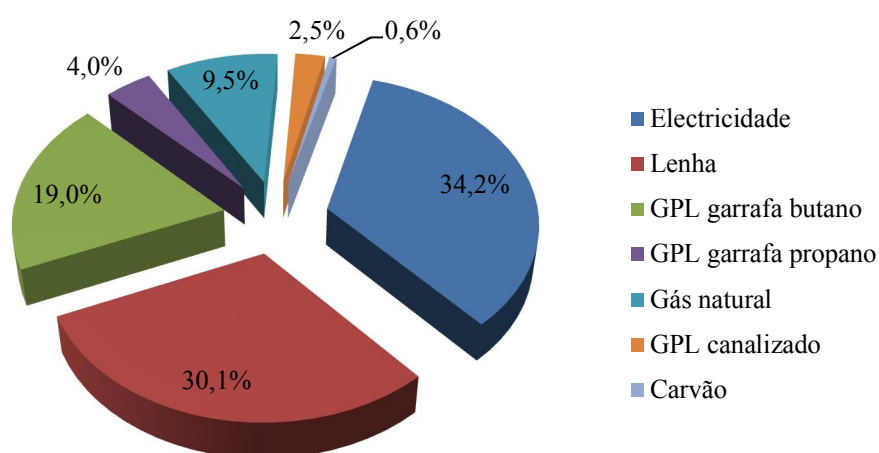


Figura 2.13 - Distribuição do consumo de energia na cozinha por tipo de fonte - Portugal, 2010 [2]

Neste sector encontram-se vários tipos de electrodomésticos para variados tipos de utilização. É na cozinha que convencionalmente são preparadas as refeições diárias, são conservados alimentos, é lavada a loiça e a roupa. Para isto são precisos equipamentos que desempenhem estas funções.

De entre os equipamentos para a preparação de refeições na cozinha, o fogão com forno, a placa e forno independente foram os equipamentos mais utilizados, estando presentes em, respectivamente, 65,5%, 36,3% e 33,8% dos alojamentos. No que respeita aos grandes equipamentos utilizados na cozinha, destaca-se a máquina de lavar loiça com 91%, o frigorífico com congelador com 58,3%, a arca congeladora com 47,6% e a máquina de lavar loiça utilizada por 40,8% dos alojamentos. Entre os pequenos electrodomésticos, destaca-se o ferro de engomar (utilizado em 92,1% das habitações), o microondas (81,8%), o aspirador (74,9%) e o exaustor/extractor (57,5%) [2].

Em relação à classe energética dos electrodomésticos existentes nos alojamentos, é de realçar que em média 54% dos equipamentos estão classificados nas classes energéticas A, A+ e

A++, tendo as classes energéticas A+ e A++ uma reduzida expressão, sendo cerca de 11% o total de electrodomésticos que apresentam as duas, das três classes energéticas mais elevadas.

Os equipamentos eléctricos, responsáveis em 10,9% do consumo total de energia do sector residencial, são responsáveis por 32,9% do total de electricidade consumida, como pode ser observado na Figura 2.14. Na globalidade destes equipamentos, a televisão é aparelho com maior utilização no sector doméstico, tendo sido utilizada em 99,6% dos alojamentos portugueses com a média de duas televisões por alojamento. Seguem-se o computador, o leitor de DVD e o rádio com, respectivamente, 59,4%, 21,5% e 17,8%.

Sendo que os aparelhos muitas vezes não são completamente desligados, sendo colocados em modo “standby”, o que causa um grande impacto nos consumos energéticos de uma habitação, existindo assim um consumo energético desnecessário. Os equipamentos eléctricos que mais contribuem para este desperdício energético são a televisão (44%), o leitor de DVD (21,5%), a aparelhagem (18,7%) e o rádio (17,8%).

A iluminação detém 4,5% do consumo energético global dos alojamentos e 13,6% do consumo total de electricidade, apresentando-se como a terceira principal utilização de electricidade na habitação, depois da cozinha e equipamentos eléctricos.

O principal factor que contribui para o consumo de energia para iluminação das habitações é o tipo de lâmpada que é utilizada para esse efeito. No mercado estão disponíveis uma grande variedade de tipos de lâmpadas como as fluorescentes compactas, fluorescentes tubulares, as de díodos emissores de luz (vulgarmente conhecidas como LED), as de halógeno e as incandescentes. Embora esta variedade exista, a escolha continua a recair no sistema tradicional de iluminação baseado em lâmpadas incandescentes, as quais apresentam a menor eficiência energética e o menor tempo de vida. A sua baixa eficiência energética deve-se ao facto de converterem grande parte da energia que recebem, 90% a 95%, em calor e somente o restante em iluminação. Esta ineficiência conduziu a que a União Europeia aprovasse a directiva EuP (Eco-Design Requirements for Energy-using Products, 2005/32/EC), que integra o programa de protecção ambiental da EU, com o intuito de retirar estas lâmpadas do mercado.

Quanto ao tipo de lâmpadas mais utilizadas nos alojamentos, continua a predominar o tradicional sistema de iluminação, baseado em lâmpadas incandescentes. As lâmpadas incandescentes foram utilizadas por cerca de 81% das habitações em Portugal, face aos 67,7% de utilização das lâmpadas fluorescentes compactas. Entre estas as lâmpadas fluorescentes tubulares, apresentam uma preferência dos utilizadores em 77,9% e foram o segundo tipo de lâmpadas mais utilizado nas habitações. Importa destacar a baixa utilização das lâmpadas LED, estando presentes em apenas 3,2% dos alojamentos.

Em média, em cada alojamento utilizam-se 9 lâmpadas incandescentes, em 60,8% dos casos com 40W de potência face às 8 lâmpadas fluorescentes compactas, em 55,1% dos casos

com 11W a 14W de potência, o que curiosamente equivale a lâmpadas incandescentes de 60W e 75W.

A electricidade, como já visto anteriormente, apresenta-se como a fonte energética mais utilizada, detendo 42,6% do total energético consumido nos alojamentos, tendo sido consumidos 14442 GWh no dado período de referência.

Analisando as várias fontes de energia pelo tipo de uso, verifica-se que a electricidade é a única fonte energética comum a todos os tipos de uso, reflectindo-se num aumento do consumo deste tipo de energia devido à amplificação do número de aparelhos eléctricos nos alojamentos.

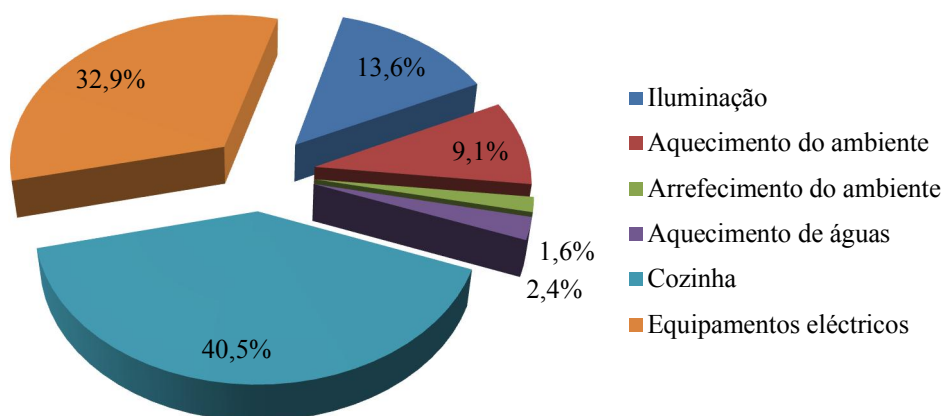


Figura 2.14 - Distribuição do consumo de electricidade por tipo de utilização – Portugal, 2010 [2]

A cozinha e os equipamentos eléctricos são os principais utilizadores da electricidade, representando na sua globalidade 73,4% do total do consumo de electricidade no alojamento e é o aquecimento de águas que se regista o menor consumo de energia eléctrica, representando 2,4% do consumo de electricidade [2].

No total, em 2010, o consumo de energias renováveis representa 25,1% em Portugal em comparação com os 74,9% do consumo de energias fósseis [2].

2.1.5. Sistemas construtivos

Através do Inquérito ao Consumo de Energia e Geologia 2010 [2], foi possível reunir informação actualizada e detalhada em relação às soluções construtivas da envolvente dos edifícios e ao seu isolamento, bem como à orientação das fachadas dos edifícios, por forma a conhecer como os edifícios estão orientados em relação à exposição solar, papel fundamental no âmbito da construção de edifícios energeticamente eficientes, e conhecer que tipos de envidraçados são utilizados no meio edificado português.

Quanto aos vãos envidraçados, as superfícies destes têm uma especial importância sendo que contribuem significativamente para o conforto no interior da habitação. Estes devem ser estanques à água, com baixa permeabilidade ao ar, para permitir o conforto no interior das habitações e deverão ser resistentes à acção do vento, para além de ser necessário uma boa resistência térmica, reduzindo assim perdas e ganhos energéticos. Para um melhor aproveitamento do envidraçado, a sua orientação e área são parâmetros fundamentais quando se entra em linha de conta com as perdas e ganhos energéticos das habitações. Neste caso, o ideal será garantir que os maiores envidraçados estarão virados a Sul, por forma a promover maior aproveitamento passivo dos ganhos solares em situação de Inverno, tendo a fachada Norte menor área de envidraçados, reduzindo-se desta forma as perdas de calor durante esta estação, sendo esta a estação do ano mais desfavorável. Para evitar os ganhos solares em situação de Verão, utilizam-se dispositivos de sombreamento, fixos ou móveis, que restrinjam a exposição dos envidraçados à elevada insulação, característica da estação de aquecimento em Portugal, em que as condicionantes destes dispositivos estão especificadas no RCCTE.

O tipo de envidraçado apresenta também um papel fundamental quando falamos em conforto térmico. Em Portugal, os envidraçados serão, na sua maioria, constituídos envidraçado de vidro simples e de vidro duplo com e sem corte térmico, em que o corte térmico é feito na caixilharia do envidraçado.

Em Portugal, 2 723 648 dos 3 932 010 alojamentos apresentam as suas fachadas orientadas a Nascente, sendo que a maioria dos envidraçados são em vidro simples, como se pode ver na Tabela 2.6, e poucas habitações utilizam envidraçados com vidro duplo e com corte térmico, desfavorecendo assim o desempenho térmico das habitações.

Da análise da mesma Tabela 2.6, constata-se que o número de fachadas viradas a Sul é inferior ao número das fachadas viradas a Nascente e a Poente, um aumento de área de envidraçado com o aumento da resistência térmica dos envidraçados e que é o vidro simples o mais utilizado como envidraçado dos alojamentos [2].

Este estado de referência do panorama do edificado habitacional, põe em causa o correcto desempenho térmico do edificado, visto que o desejável é a utilização de vidros duplos com corte térmico por forma a reduzir as perdas e os ganhos de calor, posicionar os edifícios por forma a aumentar a sua exposição solar, colocando a fachada com maiores envidraçados virada a Sul, fachada esta que fará a divisão das zonas comuns com o exterior, como a sala de estar e sala de refeições, aumentando a iluminação natural no interior destas divisões e diminuindo as necessidades de aquecimento na estação de Inverno.

Tabela 2.6 - Tipologia de vidros por orientação de fachada em Portugal, 2010 [2]

Tipo de Vidro	Fachadas viradas a Sul			Fachadas viradas a Nascente (oriente)			Fachadas viradas a Poente (ocidente)		
	Nº de alojamentos		Área média dos vidros	Nº de alojamentos		Área média dos vidros	Nº de alojamentos		Área média dos vidros
	N.º	%	m²/alój	N.º	%	m²/alój	N.º	%	m²/alój
Portugal									
Vidro simples	1982799	75,4	4,5	1968296	72,3	4,5	1915448	72,3	4,3
Vidro duplo sem corte térmico	495894	18,9	6,3	620719	22,8	6,5	604934	22,8	6
Vidro duplo com corte térmico	184583	7,0	7,2	164313	6,0	5,5	160542	6,1	5,3
Total	2628355	//	//	2723648	//	//	2648641	//	//

No que respeita ao isolamento térmico das paredes exteriores e coberturas, como se mostra na Tabela 2.7, o cenário é bastante preocupante, visto que somente 21,1% dos 3932010 alojamentos em Portugal possuem isolamento térmico nas suas paredes exteriores e apenas 18,9% das habitações portuguesas possuem isolamento térmico nas suas coberturas [2]. Estando as paredes exteriores e as coberturas dos edifícios constantemente sujeitas a variações de temperatura, a inexistência de isolamento térmico nestes elementos prejudica o desempenho térmico no interior das habitações, aumentando as necessidades energéticas de aquecimento durante o Inverno e em princípio, de arrefecimento durante o período de Verão, prejudicando a eficiência energética dos alojamentos e aumentando o seu consumo de energia nos alojamentos.

Tabela 2.7 - Número de alojamentos com isolamento térmico em Portugal, 2010 [2]

Localização do isolamento	Nº de alojamentos	%
Portugal		
Paredes exteriores	828494	21,1
Coberturas	434099	18,9

O baixo número de habitações que dispõem de isolamento térmico nas paredes exteriores é facilmente compreendido se for tido em consideração a evolução da tipificação de soluções de paredes exteriores dos edifícios de habitação.

As paredes de pano simples em pedra e tijolo que resumiam os tipos de paredes exteriores executadas, deram lugar a paredes de tijolo duplas, incorporando variados elementos, tais como isolamento térmico, barreiras pára-vapor, ventilação da caixa-de-ar, escoamento da água e correcção das pontes térmicas. Estas alterações estiveram intrinsecamente relacionadas com a intenção de melhoria do comportamento global dos edifícios, com particular preocupação no que diz respeito ao seu comportamento higratérmico.

Por forma a uma compreensão da evolução topológica das paredes exteriores, passa-se a descrever de uma forma breve e sucinta esta evolução.

Inicialmente as paredes eram executadas com materiais disponíveis perto da zona de construção, como era o caso das paredes em pedra, em adobe e em taipa. O adobe consistia num pequeno bloco de forma regular de argamassa de barro ordinário amassado com areia e palha,

moldado em forma de tijolo e seco ao ar. A parede de taipa, em Portugal, consistia numa mistura aglutinada de terra com pouco teor de argila e cascalho, contida entre a cofragem de madeira. Estes três tipos de paredes eram executados com grandes espessuras da ordem dos trinta e cinco a sessenta centímetros de espessura ou mais, dependendo do material em questão. Estes materiais foram caindo em desuso devido ao aparecimento de patologias, em especial a abertura de fendas que fomentava a penetração das águas da chuva no interior das habitações. Com o aparecimento da alvenaria de tijolo furado, a taipa e o adobe foram caindo em desuso, mas não tirando, em geral, o lugar à pedra ainda que por vezes tenham sido utilizado conjuntamente. A implementação de parede com alvenaria de tijolo, mais especificamente o “tijolo de 22”, por volta da década de 50, permitiu aligeirar o peso das paredes e reduzir a espessura dos panos. Devido à falta de estudos rigorosos deste tipo de solução, surgiram algumas patologias, em especial a abertura de fendas que fomentava a penetração da água da chuva [7].

A tipologia de parede exterior das habitações portuguesas é cerca de 52% composta por parede simples sem isolamento térmico, correspondendo às habitações construídas até 1990 [8].

A construção da parede dupla com “tijolo de 11”, pretendeu dar resposta aos problemas obtidos com a parede de tijolo simples, através da introdução de um corte hídrico na alvenaria exterior.

No início da década de 70, a parede dupla de alvenaria de “tijolo de 11” começou a incorporar um isolamento térmico leve em placas, fixo ao pano interior devido ao aumento das exigências de conforto térmico. No fim desta década, surgiram novas patologias nas pontes térmicas, isto é, em vigas de bordo, pilares e zonas nervuradas das lajes de tecto em contacto com a envolvente exterior, relacionadas com as condensações em zonas frias. Estas patologias surgem na sequência da diminuição da ventilação interior devido ao facto de se ter optado pela colocação de caixilharias em alumínio em detrimento das de madeira, sendo as de alumínio muito mais estanques, apresentando-se como uma barreira à ventilação natural.

Mais tarde, nos anos 80, verificou-se que o pano exterior não tinha a resistência mecânica necessária, fissurando facilmente, o que permitia a entrada de água pelo pano. Deste modo, percebeu-se que um aumento da espessura do pano exterior iria conferir à parede as características desejadas, sendo substituído o pano anterior por um de espessura superior com 15 cm [7].

Apesar de esta tipologia de parede exterior garantir todos os requisitos desejados, tem um problema, a sua execução. Esta parede requer um cumprimento de regras construtivas (correcta colocação do isolamento térmico, colocação de barreira pára-vapor e tratamento das pontes térmicas), necessitando assim de uma mão-de-obra bem qualificada para a sua execução, para além da morosidade de execução, o que implica um aumento do custo de mão-de-obra.

Com a entrada em vigor em 1990 do primeiro RCCTE e em 2006 do novo RCCTE actualmente em vigor, passa a ser obrigatório o coeficiente de transmissão térmica, U , da zona de ponte térmica, não ultrapassar o dobro do U da zona corrente da parede onde se encontra, implicando uma correcção das pontes. Desta forma, começou a surgir um recurso mais expressivo a alvenarias exteriores de pano simples e a revestimentos exteriores de estanquidade com isolamento térmico colocado de forma continua pelo exterior da parede, corrigindo assim as pontes térmicas existentes provenientes das zonas estruturais. O bom exemplo desta alteração na construção são as fachadas ventiladas, onde o revestimento é independente do suporte, o caso dos ETICS, revestimento de isolamento térmico colocado pelo exterior, aplicado geralmente a um pano de alvenaria (Figura 2.15).

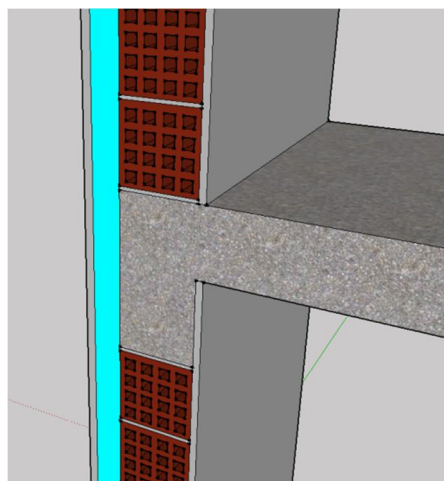


Figura 2.15 - Parede de tijolo simples com isolamento térmico pelo exterior

Da mesma forma que se exige as correcções de pontes térmicas nas paredes exteriores, exige-se igualmente para as coberturas dos edifícios para evitar perdas e ganhos de calor desnecessários, garantindo assim o conforto térmico nas habitações.

O RCCTE estipula valores de referência e valores máximos para os coeficientes de transmissão térmica para as coberturas e para as zonas de parede exterior consoante a zona térmica a que se refere, como se mostra na Tabela 2.8, que se segue.

Tabela 2.8 - Coeficientes de transmissão térmica superficiais de referência e máximos admissíveis de elementos da envolvente ($U - W/m^2\text{°C}$), Portugal [9, 10]

Elemento da envolvente	Zona climática					
	I ₁		I ₂		I ₃	
	U_{ref}	$U_{máx}$	U_{ref}	$U_{máx}$	U_{ref}	$U_{máx}$
Elementos exteriores em zona corrente						
Zonas opacas verticais	0,70	1,80	0,60	1,60	0,50	1,45
Zonas opacas horizontais	0,50	1,25	0,45	1,00	0,40	0,90
Elementos interiores em zona corrente						
Zonas opacas verticais	1,40	2,00	1,20	2,00	1,00	1,90
Zonas opacas horizontais	1,00	1,65	0,90	1,30	0,80	1,20

2.2. A certificação energética e o seu contributo

Actualmente em Portugal vigora um programa de certificação energética por forma a melhorar a eficiência energética do parque edificado português. Embora Portugal disponha de excelentes recursos para produção de energia provenientes de fontes renováveis, existe ainda um forte atraso na implantação de projectos sustentáveis.

Através de normas comunitárias, o programa em vigência procura moderar a actual tendência do crescimento do consumo energético nos edifícios, garantindo as condições de qualidade do ar e de conforto no interior das habitações.

O processo de certificação energética foi iniciado pela Directiva Comunitária 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de Dezembro de 2002, objectivando o procedimento de legislação quanto ao desempenho energético dos edifícios, tendo sido posteriormente reformulada, onde resulta a actual Directiva Comunitária 2010/31/UE, que impõe aos estados membros da União Europeia a emissão de certificados energéticos para os seguintes casos:

- Para obtenção de licença de utilização em novos edifícios;
- Na reabilitação de edifícios existentes, em que o custo de reabilitação seja superior a 25% do valor do edifício sem terreno ou em que é renovada a envolvente do edifício em mais de 25%;
- No arrendamento ou venda de edifícios de habitação e de serviços existentes, com uma validade máxima do certificado de dez anos e periodicamente, para todos os edifícios públicos de serviços com mais de mil metros quadrados, em cada seis anos [11].

O presente diploma visa a promoção da melhoria do desempenho energético dos edifícios na Comunidade, tendo em consideração as condições climáticas extremas, as condições locais e as exigências em matéria de clima interior das habitações e a rentabilidade económica.

A presente directiva institui requisitos em relação ao enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios, estabelece requisitos mínimos, a serem aplicados, para o desempenho energéticos nos novos edifícios e nos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação, promovendo a certificação energética do parque edificado e incentivando uma inspecção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios, a ser complementada com a avaliação das instalações de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos.

Desta forma, a directiva 2010/31/EU, ao incentivar a implementação de um sistema de certificação energética, permite ao cidadão estar informado sobre a qualidade térmica dos edifícios, aquando da sua construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo

também que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público.

Nos edifícios existentes, a certificação energética destina-se a proporcionar informação sobre as medidas de melhoria de desempenho, com viabilidade económica, que o proprietário pode implementar para reduzir as suas despesas energéticas e, simultaneamente, melhorar a eficiência energética do edifício.

Nos novos edifícios e nos edifícios já existentes sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, a certificação energética permite comprovar a correcta aplicação da regulamentação térmica em vigor para o edifício e para os seus sistemas energéticos, nomeadamente a obrigatoriedade de aplicação de sistemas de produção de energia por fonte renovável e equipamentos de elevada eficiência energética [11].

Claro que, esta directiva comunitária terá de ser complementada com legislação própria de cada país da Comunidade Europeia, como já foi referido. O que esta directiva europeia exige é apenas um comprovativo do cumprimento da regulamentação no final da construção, isto é, aquando do pedido de licença de utilização. No entanto, alguns dos estados membros, entre eles Portugal, adoptaram o princípio de fiscalizar os novos edifícios antes e no final da construção. Desta forma haverá uma fiscalização aquando do pedido de licença de construção e no final, quando for pedido o pedido de licença de utilização.

Este tipo de abordagem, permite detectar e corrigir qualquer erro de projecto antes da construção do edifício em vez do final da obra. Esta metodologia poderá ser mais dispendiosa mas auferir grande potencial de poupança, evitando correcções após a obra estar concluída.

A complementaridade da legislação europeia em Portugal, é efectuada através de três decretos-lei nacionais, a saber:

- Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de Abril, ou seja, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) [12];
- Decreto-lei nº 79/2006 de 4 de Abril, ou seja, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) [13];
- Decreto-lei nº 80/2006 de 4 de Abril, ou seja, Regulamento das características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [9].

Citando o Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de Abril, o Estado assegura a melhoria do desempenho energético e da qualidade do ar interior dos edifícios através do SCE [12].

O SCE tem como finalidade:

- Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia da qualidade do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no Regulamento das Características de Comportamento

Térmico dos Edifícios (RCCTE) e no Regulamento dos Sistemas Energéticos e de Climatização dos Edifícios (RSECE);

- A certificação do desempenho energético e da qualidade do ar interior nos edifícios;
- Identificar as medidas correctivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respectivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer à qualidade do ar interior.

Desta forma, o SCE é um dos três pilares sobre os quais assenta a nova legislação relativa à qualidade térmica dos edifícios em Portugal e que se pretende venha a proporcionar economias significativas de energia para o país em geral e para os utilizadores dos edifícios, em particular. Em conjunto com os regulamentos técnicos aplicáveis aos edifícios de habitação (RCCTE, DL 80/2006) e aos edifícios de serviços (RSECE, DL 79/2006), o SCE vem definir regras e metodologias para verificação da aplicação efectiva destes regulamentos às novas edificações, bem como, numa fase posterior aos imóveis já construídos.

A supervisão do SCE estará ao encargo da Direcção-Geral de Energia e Geologia e do Instituto do Ambiente, no que diz respeito à certificação, eficiência energética e à qualidade do ar interior dos edifícios.

Na última década, existe uma tendência acentuada do crescimento da procura de sistemas de climatização no nosso país, desde os mais simples e de pequenas dimensões aos mais complexos e de grandes dimensões, sobretudo em edifícios do sector terciário. Esta tendência surge em consequência da melhoria de nível de vida das populações e do seu grau de exigência de conforto, da elevada taxa de crescimento do parque habitacional na última década e da falta de projectos de térmica e ventilação para melhoria do conforto interior.

O RSECE procura introduzir algumas medidas de racionalização, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício, sobretudo para evitar o sobredimensionamento, sendo até então a prática comum de mercado, contribuindo desta forma para a sua eficiência energética, evitando-se investimentos e consumos desnecessários.

Desta forma, o RSECE vem estabelecer:

- As condições no projecto de novos sistemas de climatização, nomeadamente:
 1. Os requisitos de conforto térmico e de qualidade do ar interior, os requisitos mínimos de renovação e tratamento do ar que permitem assegurarem condições de eficiência energética, mediante a selecção adequada de equipamentos e a sua organização em sistemas;

2. Os requisitos da concepção da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas de climatização de forma a garantir a segurança e a qualidade durante o seu normal funcionamento;
 3. Garantir uma utilização racional da energia, dos materiais e das tecnologias de forma adequada em todos os sistemas energéticos do edifício, com a finalidade de garantir a sustentabilidade ambiental.
- Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes;
 - Os limites máximos de consumo de energia para todo o edifício, em particular a climatização, previsíveis em condições normais de funcionamento para edifícios novos ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes que venham a ter novos sistemas de climatização, bem como os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios;
 - As condições para a monitorização e auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior;
 - Os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os técnicos responsáveis pelo projecto, instalação e manutenção dos sistemas de climatização, como também em termos da eficiência energética e da qualidade do ar interior [13].

Quanto à fixação dos requisitos energéticos de cada edifício a que o RSECE se aplica, estará estabelecido de acordo com o RCCTE, que define os requisitos exigenciais de conforto térmico para o cálculo das necessidades energéticas dos edifícios.

No seu âmbito de aplicação, o RCCTE estabelece as regras a ser executadas no projecto de todos os edifícios de habitação e dos edifícios de serviços sem sistemas de climatização centralizados de modo a que:

- As exigências de conforto térmico, tanto para aquecimento como para arrefecimento, de ventilação, garantindo uma qualidade do ar interior dos edifícios, e de água quente sanitária sejam satisfeitas por forma a não haver desperdício energético em excesso;
- Sejam reduzidas as situações patológicas nas construções, provocadas pelas condensações superficiais e por condensações internas, provocadas largamente pela fraca ventilação interna do seu interior, afectando a durabilidade dos elementos construtivos e da qualidade do ar.

Neste âmbito o RCCTE estipula que os vãos envidraçados cuja área total seja superior a 5% da área útil de pavimento do espaço que servem, excluindo os envidraçados a Norte, não

podem apresentar um factor solar correspondente ao vão envidraçado com os dispositivos de protecção 100% activos, maior do que está definido no regulamento [9].

Habitações unifamiliares com área útil inferior a 50 m², não necessitam de verificação detalhada dos requisitos impostos pelo RCCTE, devendo, para tal, satisfazer cumulativamente as seguintes condições:

- Nenhum elemento opaco da envolvente, em zona corrente, pode ter um coeficiente de transmissão térmica superior ao limite definido no quadro IX.3 do RCCTE;
- Nenhum elemento da envolvente que constitua zona de ponte térmica plana pode ter um coeficiente de transmissão térmica superior ao dobro da zona corrente adjacente;
- As coberturas têm de ser de cor clara;
- A inércia térmica do edifício tem de ser média ou forte;
- A área dos vãos envidraçados não pode exceder 15% da área útil de pavimento do edifício;
- Os vãos envidraçados com mais de 5% da área útil dos espaços que servem e não estão orientados no quadrante norte devem ter factores solares que não excedam valores definidos no quadro IX.4 do RCCTE.

O RCCTE impõe ainda obrigatoriedade da contabilização das necessidades de energia para preparação das águas quentes sanitárias, numa óptica de consideração de todos os consumos de energia importantes, sobretudo, neste caso, na habitação, com um objectivo específico de favorecimento da penetração dos sistemas de colectores solares ou outras alternativas renováveis. Desta forma, o recurso a sistemas de colectores solares térmicos para aquecimento de água sanitária nos edifícios abrangidos pelo RCCTE é obrigatório sempre que haja uma exposição solar adequada, na base de 1 m² de colector por ocupante previsto, podendo este valor ser reduzido por forma a não ultrapassar 50% da área de cobertura total disponível, em terraço ou nas vertentes orientadas no quadrante sul, entre sudeste e sudoeste.

2.3. A directiva 2010/31/UE e os edifícios de balanço energético quase nulo

A directiva europeia 2010/31/UE aborda no seu artigo nono a intensão de assegurar que os seus estados membros passem a executar edifícios com balanço energético quase nulo (NZEB), ou seja, edifícios em que as suas necessidades energéticas são igualadas à sua produção energética a partir de fontes renováveis ao fim do ano. Para este efeito a directiva define metas de execução, a saber:

- O mais tardar, em 31 de Dezembro de 2020, todos os edifícios novos deveram assegurar necessidades energéticas quase nulas;
- Após 31 de Dezembro de 2018, os edifícios novos ocupados e pertencentes a autoridades públicas deveram assegurar necessidades energéticas quase nulas;

Para esta execução ser faseada, o mesmo artigo impõe objectivos intermédios, a serem executados até 2015, a fim de melhorar o desempenho energético dos novos edifícios e melhorando assim a realização destas medidas.

É desta forma que o SCE, o RSECE e o RCCTE irão contribuir para a implementação destas medidas, tentando minimizar as necessidades energéticas dos edifícios.

No final de construção de um edifício, respeitando estas medidas e legislação, serão emitidos certificados energéticos que permitem informar, a quem compra ou a quem arrenda, que classificação energética o edifício tem e qual a sua eficiência energética.

O objectivo dos edifícios de balanço energético nulo ou quase nulo é um conceito complexo com variadas abordagens que colocam diferentes questões e aspectos sobre o mesmo. A problemática do cálculo do balanço energético de um edifício equipado com sistemas de produção renovável de energia produzida no local ou fora do local a fim de atingir o objectivo do zero energético é um objectivo difícil de se concretizar, ainda mais tendo em conta os diferentes climas e as diferentes abordagens para os mesmos.

Estes edifícios terão de ter um desempenho energético muito elevado, em que as suas necessidades energéticas serão quase nulas ou muito pequenas, sendo colmatadas por energia proveniente de fontes renováveis, produzidas no local ou nas proximidades.

A Agência Internacional da Energia (IEA) através do *Solar Heating & Cooling Programme*, da *Task 40* e do ECBCS, desenvolve estudos no âmbito dos edifícios NZEB e da eficiência energética, tentando desenvolver bases transversais de entendimento, por forma a harmonizar a nível internacional definições de sistema, ferramentas, soluções inovadoras e linhas orientadoras para a indústria, sendo esta a chave para a adopção destas práticas pela indústria, por forma a concretizar este objectivo.

Neste contexto, a *Task 40* tem um papel fundamental para o desenvolvimento de edifícios NZEB. Esta visa a documentação de práticas de balanço energético através de projectos experimentais reais de qualidade arquitectónica.

Estes projectos experimentais têm o objectivo de igualar as suas necessidades energéticas e o seu custo com a sua eficiência energética através de sistemas de aquecimento e arrefecimento integrados nos edifícios e de sistemas geradores de energia proveniente de fontes renováveis.

A *Task 40* estuda também a forma como os seus utilizadores interagem e utilizam estes edifícios.

O objectivo da *Task 40* é concretizar a ideia de edifício NZEB e torná-la numa realidade praticada no mercado imobiliário.

2.4. A eficiência energética dos edifícios habitacionais

Tanto a nível mundial como a nível português, o consumo de energia tem vindo a aumentar gradualmente. As cidades crescem, as sociedades desenvolvem-se, as sociedades aumentam a sua qualidade de vida e o como consequência temos um aumento do consumo energético.

Para além da explosão populacional das últimas décadas, hoje temos mais serviços, mais aparelhos eléctricos e o resultado é o consumo excessivo de energia, uma realidade que pode ser revertida com tecnologias mais eficientes e mudanças nos hábitos comportamentais e de consumo das populações.

A eficiência energética é o caminho fundamental para a sustentabilidade. O conceito de eficiência energética pode ser definido como uma optimização do consumo energético afectado a um desempenho que produza os mesmos resultados, isto é, no caso de um edifício, pode-se reduzir substancialmente os gastos em energia, sem prescindir do conforto e comodidade internas, adoptando tecnologias mais eficientes. Para isto acontecer, terão de ser levados a cabo algumas alterações, tanto na forma como se constrói, como nos equipamentos eléctricos que são utilizados e na utilização do edifício pelos seus usuários.

Os factores de eficiência energética em edifícios variam consoante a localização, o clima, o tipo de construção e geografia. Com as variadas combinações entre estas condicionantes, para se garantir a eficiência energética de uma habitação terão de se encontrar medidas transversais a todas estas condicionantes.

Para um edifício alcançar uma eficiência energética óptima, este tem de ser pensado de uma forma transversal, de forma a evitar o desperdício energético e a maximizar a sua eficiência energética através de medidas passivas e activas, alcançando-se um estado de necessidades energéticas reduzidas.

2.5. O contributo da construção sustentável

A construção sustentável surgiu perante a preocupação com o ambiente em relação ao consumo excessivo e insustentável de recursos, às emissões de gases poluentes como os gases com efeito de estufa, a saúde e a biodiversidade.

O primeiro conceito de sustentabilidade data de 1987, no Relatório Brundtland “Nosso futuro comum” elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento

da ONU e presidida por Gro Harlem Brundtland e Mansour Khalid. Surge um novo conceito de sustentabilidade. Esse conceito é definido como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir as suas necessidades” [14].

O mesmo relatório destaca a incompatibilidade entre processos de desenvolvimento e os padrões de consumo e produção, apelando à criação de uma nova relação entre o ser humano e o meio ambiente e defendia a conciliação entre o crescimento económico com as questões ambientais e sociais.

Facilmente se perceberá que a sustentabilidade não será mais do que a capacidade de satisfazer as actuais necessidades, de uma forma capaz de garantir as necessidades de futuras gerações.

Vários autores já se debruçaram sobre este tema, tais como Charles Kibert, Tom Woolley e Manuel Duarte Pinheiro, não existindo, no entanto, uma única definição para este conceito.

Manuel Pinheiro afirma que “construção sustentável é (...) encontrar eficiência nos sistemas e nos materiais, que resultem em menores utilizações de energia e que também aumentem a vida dos edifícios para além dos tradicionais 50 anos de vida”, referindo ainda que “Independentemente do seu papel, do desenho, do processo, assim como do seu produto, as construções devem ser um reflexo dos processos naturais perspectivados numa lógica complementar, ao invés de destruir os sistemas naturais. Esta lógica de construção sustentável não é binária no sentido de ser ou não ser, mas progressiva por níveis, havendo assim níveis crescentes de sustentabilidade” [15].

Porém, a definição que reúne maior consenso internacional é a apresentada em 1994 por Charles Kibert, que define esta temática como a “criação e gestão responsável de um ambiente construído saudável, tendo em consideração os princípios ecológicos e a utilização eficiente dos recursos”.

Por forma a responder à necessidade de por em prática o conceito de sustentabilidade têm sido desenvolvidos e aplicados a nível internacional, desde a segunda metade da década de 1980, vários sistemas de avaliação e desempenho ambiental dos edifícios, como:

- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) - no Reino Unido;
- LEEDTM (Leadership in Energy and Environment design) – nos Estados Unidos da América;
- CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) – no Japão
- SBTool (Sustainable Building Tool) desenvolvida pelo iiSBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment).

Para além destes métodos que podem ser aplicados em Portugal com as adaptações necessárias, existem dois sistemas cujas características foram ajustadas à realidade portuguesa, sendo estes o LiderA e o SBTToolPT.

Os diversos sistemas de avaliação referidos anteriormente centram-se na análise dos seguintes indicadores: Local e integração, Cargas ambientais e impacte da envolvente, Recursos, Ambiente interior, Planeamento, aplicabilidade e adaptabilidade, Gestão ambiental e inovação e Aspectos políticos e socioeconómicos.

O número e tipo de parâmetros correspondentes a cada um destes indicadores variam de sistema para sistema. Os únicos parâmetros em comum nos quatro sistemas referidos são o conforto térmico, emissões atmosféricas, resíduos da construção, água, energia e materiais [14].

Além disso, analisando-se o factor de ponderação correspondente a cada um destes parâmetros, constata-se que a Energia assume um dos valores de ponderação mais elevados. Tendo como exemplo o sistema LiderA, a ponderação atribuída aos parâmetros comuns são: 5% para o Conforto térmico, 2% para as Emissões atmosféricas, 3% para os Resíduos da construção, 8% para a Água, 17% para a Energia e 5% para os Materiais [16].

Isto demonstra a relevância da eficiência energética como forma de alcançar uma construção sustentável. À partida, o cumprimento pleno dos parâmetros energéticos permite alcançar um nível de certificação mais favorável.

Por estes motivos, torna-se importante estudar o desempenho energético dos edifícios e estabelecer estratégias por forma a melhorar a eficiência energética de uma habitação.

2.6. Edifícios de balanço energético quase zero.

“One experiment is better than a thousand expert views”
(Villum Kann Rasmussen fundador da VELUX)

O conceito de edifício de balanço energético quase nulo, está englobado no conceito de *Net-zero energy building*. Os *Net-zero energy building* englobam no seu conceito os edifícios de balanço energético nulo ou quase nulo, terminologia ultimamente muito em voga devido à reformulação da Directiva Europeia para o Desempenho Energético de Edifícios de 19 de Maio de 2010. Segundo esta, um edifício com necessidades energéticas quase nulas de energia é aquele que apresenta um desempenho energético muito elevado, onde as suas necessidades energéticas quase nulas deverão ser colmatadas em grande medida por energia proveniente de fontes renováveis produzidas no local ou nas suas proximidades [17].

Nos seguintes subcapítulos serão analisados diferentes edifícios de balanço energético nulo ou quase nulo, relatando os seus pressupostos, a sua caracterização, objectivos e as diferentes abordagens aplicadas, por forma a alcançar os objectivos a que se propõem, de forma

a perceber as condicionantes que se enfrentam quando se pretende alcançar o balanço energético quase zero em edifícios residenciais.

2.6.1. O edifício “Home for Life”

O edifício Home for Life (Figura 2.16), finalizada em Abril de 2009, situado em Lystrup perto de Århus, na Dinamarca, é uma habitação unifamiliar, impacto neutro de dióxido de carbono, com foco especial no conforto interior de balanço energético zero. Foi a primeira das seis casas experimentais do projecto VELUX Model Home 2020.



Figura 2.16 - Edifício Home for Life [18]

Esta casa foi habitada pelos Simonsens, uma família de cinco pessoas, que experimentaram e testaram a habitação a fim de saber se esta casa permitia ao utilizador o conforto interno desejado e se a mesma era capaz de produzir mais energia do que necessitava a longo prazo.

2.6.1.1 Objectivos

Com o projecto VELUX Model Home 2020, deu-se início à construção de seis habitações que combinassem alguns objectivos definidos como os principais a ter em conta.

Exige-se assim que a Home for Life considere o consumo energético numa perspectiva holística, que crie uma envolvente exterior eficiente que, suportada pela tecnologia e pelo design, alcance os melhores níveis de conforto e de bem-estar para o utilizador. Desta forma a Home for Life terá de conjugar a energia, o conforto e a preocupação com o ambiente (Figura 2.17), com a arquitectura do edifício, para que todos os parâmetros sejam complementados entre si e assim maximizar a qualidade de vida no interior da habitação [18, 19].

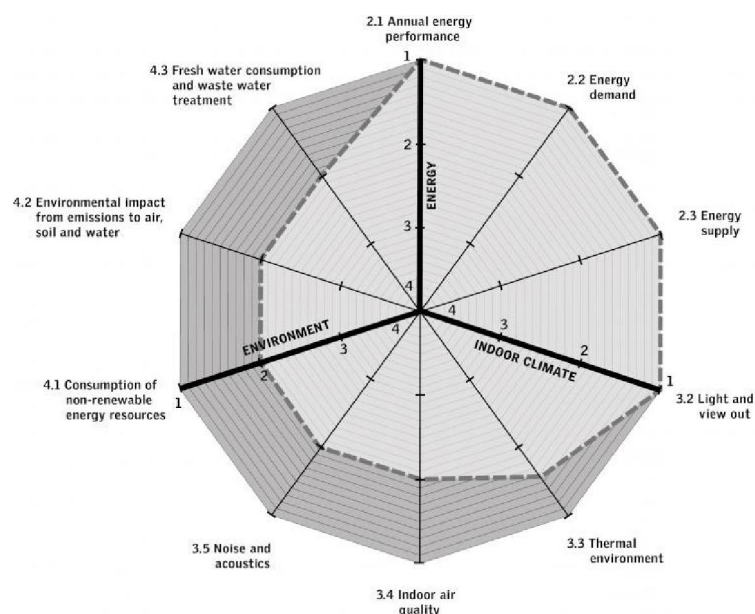


Figura 2.17 - Factores tidos em conta no planeamento da Home for Life [18]

2.6.1.2 Características

A Home for Life, situada nos subúrbios de Lystrup, representa de várias formas as aspirações dos proprietários de imóveis residenciais do início do século XXI. Projectada para uma família de cinco indivíduos, esta é composta por uma ampla zona de estar, das quais fazem parte a cozinha e a sala de estar, uma casa de banho, uma zona técnica da qual fazem parte zona de tratamento de roupa e a casa das máquinas, ambas situadas no piso térreo. O piso superior destina-se a uma zona privativa, da qual fazem parte os três quartos do domicílio com casa de banho comum a todos eles. A concepção deste espaço permite aos seus ocupantes uma maior interacção entre si, aumentando os momentos de convívio no piso térreo, estando o piso superior reservada para os momentos intimistas e de descanso [20].

A arquitectura do espaço assegura que todas as divisões possam disfrutar de uma visão desobstruída para o campo que rodeia a habitação através dos seus grandes envidraçados.

A maioria das divisões recebe luz solar em pelo menos duas direcções. O efeito positivo desta estratégia, permite aos ocupantes uma melhor vivencia no interior da casa, pois quando o sol incide sobre uma fachada da habitação, os dispositivos de sombreamento são activados para proteger as janelas dessa fachada, permitindo uma confortável iluminação do interior pelas janelas das fachadas adjacentes, oferecendo sempre condições de conforto visual sem a necessidade de recurso a iluminação artificial.

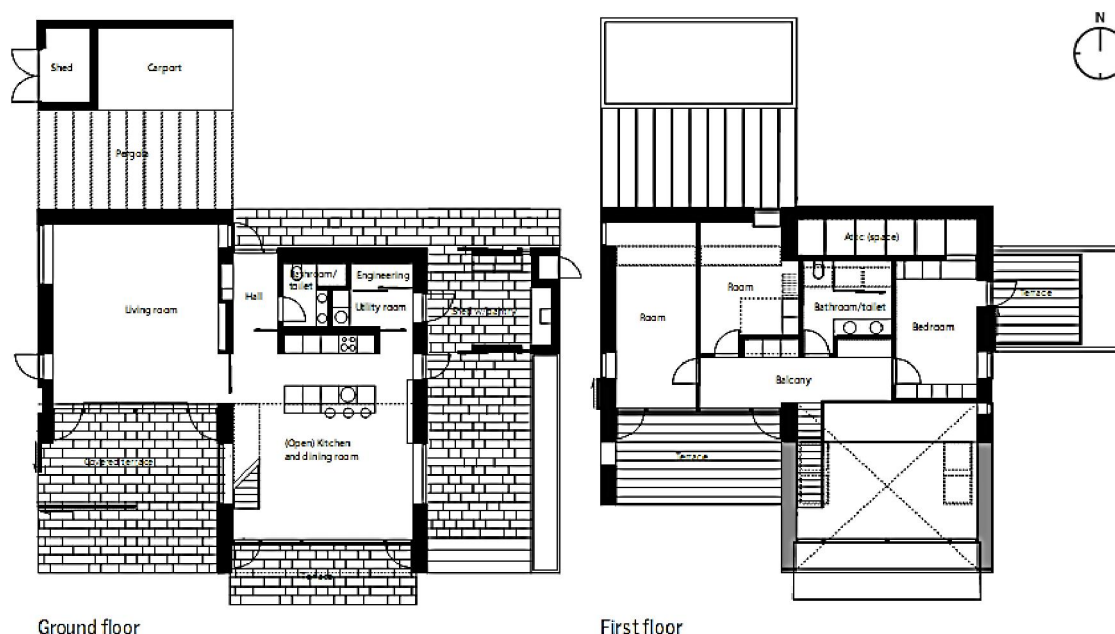


Figura 2.18 - Plantas do piso térreo e do 1º piso da Home for Life [21]

No piso térreo, toda a zona de estar e cozinha apresentam janelas em todas as quatro direcções por forma a atenuar as barreiras entre o interior e o exterior da habitação. A maioria das janelas e portadas chegam até ao chão, dando a sensação ao utilizador duma maior área espacial e mais arejada, enquanto na cobertura estão instaladas janelas rotativas pelo seu eixo central que permitem a penetração da luz solar e promovem a ventilação natural do espaço interior [20].

2.6.1.3 Soluções técnicas

A concepção desta habitação foi desenvolvida com a preocupação de dar aos habitantes um bom conforto interno no interior do espaço, desenvolvendo propostas de soluções construtivas viradas para a problemática do aumento do consumo de energia, que se têm vindo a registar por parte das habitações, dotando-a de sistemas energéticos e de soluções construtivas, ao nível da envolvente exterior, energeticamente eficientes, tendo sempre na memória a problemática ambiental das emissões de carbono.

Desta forma, pretende-se executar uma habitação sustentável, energeticamente eficiente, neutra de dióxido de carbono, dotada de dispositivos que permitam alcançar um balanço energético que lhe confira uma auto-suficiência energética.

Iluminação

A habitação é composta por dois pisos de 190 m² de área total de pisos. A área de envidraçado, das fachadas como também da cobertura, tem um equivalente a 40% da área total de pisos, notando-se assim uma optimização das áreas dos envidraçados face ao que correntemente é feito. Na Dinamarca a área de envidraçado rondará os 20% a 25% da área total de pisos, proporcionando mais iluminação no seu interior face à construção corrente. As condições de iluminação foram simuladas e avaliadas através do simulador VELUX Daylight Visualizer 2 e testado em modelos reais à escala em condições laboratoriais.

Os 70 m² de envidraçados instalados nesta habitação, estão distribuídos por fachada da seguinte forma: 70% Sul, 5% Norte, 11,5% Este e 11,5% Oeste [22].

Através dos dados recolhidos verificam-se médios os níveis de iluminação em toda a casa, tendo a cozinha superando a média em 20% do valor de iluminação solar recomendado de 5%. As divisões posicionadas a Norte têm igualmente boas condições de iluminação devidas, em grande parte, ao envidraçado colocado na cobertura. Desta forma o recurso a iluminação artificial, durante os períodos de exposição solar, tornam-se nulos [21].

O excesso de iluminação solar é controlado também pelos dispositivos de sombreamento existentes nas fachadas e nas janelas da cobertura.

As janelas da cobertura são janelas de rotação central mecânica e estáticas, compostas por vidro triplo com Árgon entre os panos de vidro, de caixilharia com núcleo de madeira revestidas a poliuretano de cor branca e com cortinas de sombreamento. Estas janelas mecânicas operam sem interacção do utilizador para melhoria das condições de humidade e temperatura no interior da habitação. As cortinas de sombreamento permitem o ajuste das condições de iluminação do interior e o triplo vidro confere menores perdas e ganhos energéticos, permitindo assim um melhor controlo da temperatura interna.

Os beirados da fachada virada a Sul fornecem sombreamento ao sol alto do Verão e permite a entrada do sol baixo do Inverno, possibilitando assim, de uma forma natural, um mecanismo de sombreamento que impede o sobreaquecimento no Verão e que favorece o aquecimento no Inverno.

As persianas e cortinas das janelas verticais regulam o calor, os índices de iluminação natural, para além de conferirem privacidade quando assim é desejado pelo utilizador. Estas janelas verticais são em caixilharia de alumínio, de vidro triplo com árgon entre os panos de vidro, fixas ou de rotação a eixo vertical lateral [21].

A orientação das fachadas foi executada segundo a orientação dos pontos cardeais, com a fachada principal orientada a Sul, como também o próprio desenho arquitectónico optimiza o seu desempenho comportamental em relação à iluminação interior.

Através da maximização da iluminação natural no interior da habitação, os designers e arquitetos que criaram este edifício, acreditavam que reduzindo a iluminação artificial ajudariam a combater a doença escandinava, vulgarmente conhecida por “depressão de Inverno”, que se acredita estar relacionada com a escassez de iluminação natural [23].

Ventilação

No Inverno, o ar penetra no interior da habitação através de um sistema mecânico de ventilação forçada com recuperação de calor. O sistema tem a capacidade de se adaptar às necessidades de ventilação das divisões internas. Este sistema funciona com a admissão de ar novo em todas as divisões e exaustão do ar viciado pela cozinha, casa de banho e casa de tratamento de roupa [19].

No Verão, as aberturas colocadas no topo dos envidraçados e as janelas rotativas de eixo central permitem que a ventilação seja concretizada de forma natural, com a admissão de ar controlada por sensores instalados no interior da habitação. Este Sistema garante uma ventilação adequada e não mais do que é necessário, garantindo assim o conforto interno.

A ventilação natural substitui assim a ventilação mecânica durante o Verão, permitindo a redução do consumo energético do edifício [21].

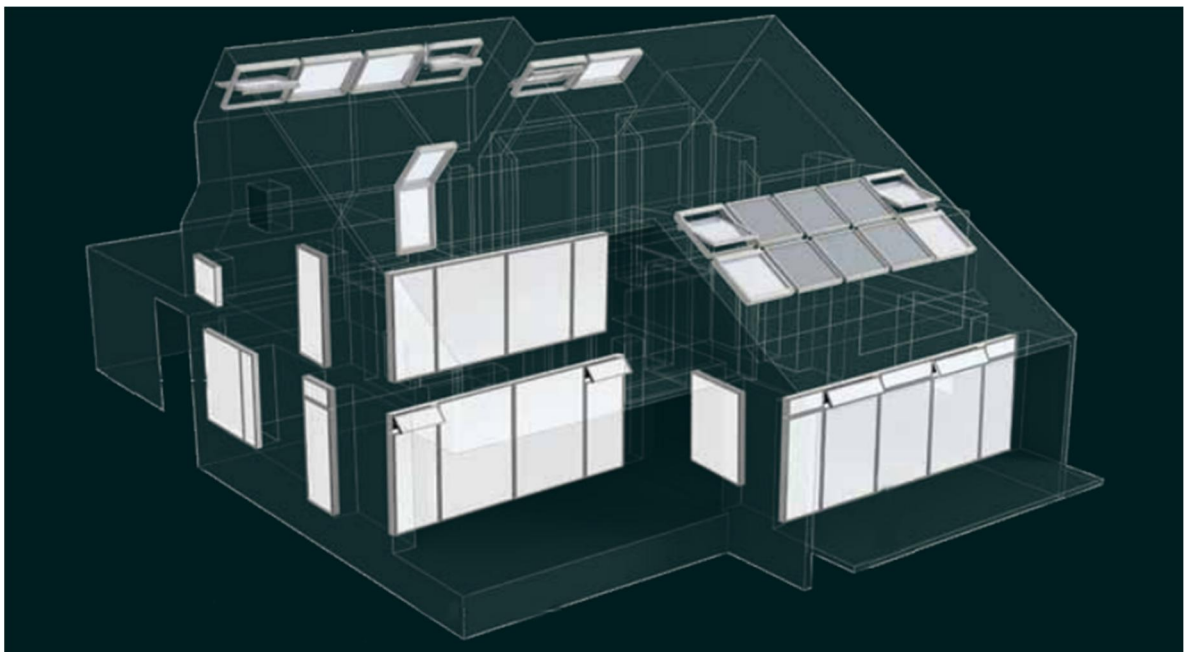


Figura 2.19 - Posicionamento dos envidraçados e das suas aberturas na Home for Life [24]

Energia

Através de sistemas de produção de energias renováveis, a Home for Life vê o seu consumo total energético minimizado. Segundo a VELUX, o diferencial energético entre a energia requerida para o funcionamento da habitação e a energia produzida por fontes renováveis acumulados durante aproximadamente 40 anos equivale à quantidade de energia representada pelos materiais que constituem a Home for Life.

A estratégia energética desta habitação apresenta uma dupla abordagem. Por um lado desenvolve uma opção de redução do consumo energético e por outro, uma estratégia de produção de energia eléctrica de fontes renováveis.

Em termos de redução do consumo energético, este é alcançado através da utilização de electrodomésticos com alta eficiência energética, arrefecimento passivo por ventilação natural durante o Verão por forma a não necessitar de energia para arrefecimento e ventilação do espaço interior, através dos amplos envidraçados e da sua disposição, que aumenta o nível de luminosidade interna, não necessitando de recorrer a iluminação artificial e evitando assim gasto desnecessário de energia quando existe iluminação natural que pode ser aproveitada. Quando se chega ao final do dia em que a iluminação natural é ineficaz ou inexistente, as lâmpadas são a única forma de iluminação do interior. Neste caso optou-se por lâmpadas fluorescentes, pela sua boa iluminação, com baixo consumo energético, aliado à sua maior eficiência energética e ao seu período de vida, que é mais elevado que as suas concorrentes [21].

Home for Life – energy concept

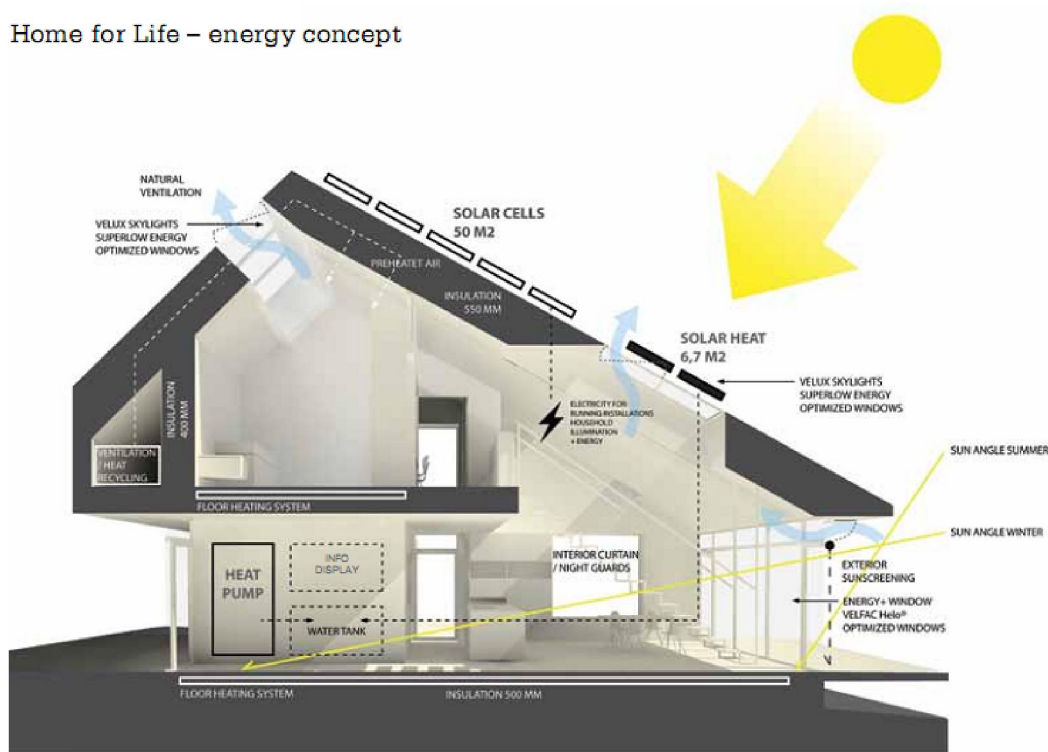


Figura 2.20 - Concepção energética da Home for Life [24]

Para a estratégia de produção de energia através de fontes renováveis, temos a produção de energia eléctrica através de painéis fotovoltaicos, permitindo que o edifício obtenha energia eléctrica fora da rede de distribuição energética, de forma limpa e sem custo adicionais (exceptuando o custo inerente dos próprios painéis), piso radiante possibilitando o aquecimento do pavimento quando este necessitar melhorando o conforto interno, colectores solares para produção de água quente e bomba de calor que utiliza a energia livre do ar extraíndo-lhe o calor, reduzindo os custos energéticos, apresentando-se como uma óptima solução para o aquecimento doméstico e produção de águas quentes.

Os painéis fotovoltaicos possuem uma área de 50 m² que proporcionam uma produção energética de 29.1 kWh/m²/ano e os colectores solares uma área de 6.7 m², tendo uma produção energética anual a 11.4 kWh/m² [24].

A estratégia energética escolhida só resulta pela combinação destes sistemas como um todo, sendo complementado com o tipo de envidraçados, desenho arquitectónico e soluções construtivas.

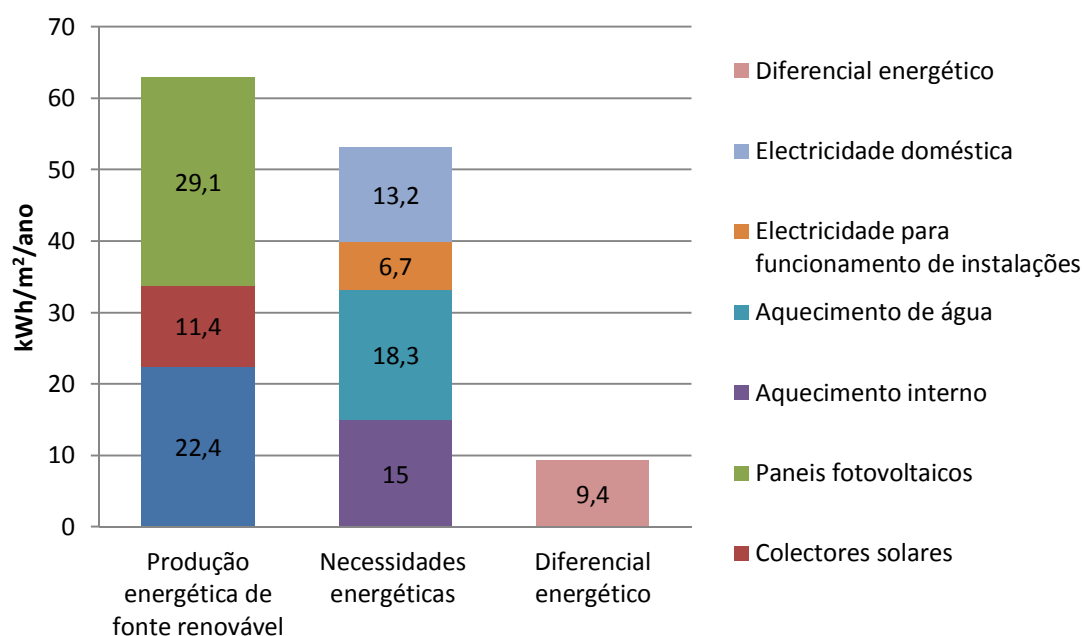


Figura 2.21 - Balanço energético da Home for Life [24]

Desta forma, a Home for Life apresenta um diferencial positivo entre a produção energética de fonte renovável e as necessidades energéticas de 9,4 kWh/m²/ano, onde os cálculos de performance e produção energética foram feitos de acordo com os padrões nacionais e através do Beat 2002, *software* de avaliação ambiental da construção.

Materiais e Soluções construtivas

A escolha dos materiais para esta casa teve o principal objectivo de conferir o mínimo impacto possível para com o meio ambiente, recaindo a escolha sobre materiais naturais com elevada durabilidade, que necessitem de pouca manutenção e que contribuam para um bom conforto interno.

A estrutura deste edificado é realizada em madeira, conferindo-lhe maior leveza, flexibilidade estrutural e durabilidade, em comparação com o betão armado, com vigas de madeira em “I”, onde suportam o revestimento em chapas de madeira das divisões, que conjugados com pilares em madeira laminada, constituem, assim, a estrutura do edifício [24].

A madeira utilizada para a construção desta habitação é certificada pelos padrões internacionais da PEFC [25].

As paredes exteriores são isoladas termicamente com lã mineral entre painéis de madeira de média densidade com espessura de 395 mm, mais correntemente designados por MDF, levando ainda acabamento exterior em pedra, ardósia natural, permitindo a que as paredes exteriores possam alcançar um coeficiente de transmissão térmica de $0.10 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ [19].

O pavimento do piso intermédio é executado em pranchas de madeiras sobre vigas de madeira em I, com isolamento em lã mineral cobertas com placas de MDF na zona do tecto.

A cobertura tem as mesmas características construtivas do piso intermédio exceptuando o revestimento superior, realizado em pedra, ardósia natural. O pavimento do piso térreo é revestido superiormente a pranchas de madeira sobre vigas de madeira em I, com a excepção da cozinha e sala de refeições que apresenta um soalho em ardósia natural, isolado termicamente com lã mineral com 500 mm de espessura, que lhe confere um coeficiente de transmissão térmica de $0.07 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

Importa ainda frisar que o coeficiente de transmissão térmica linear na ligação da parede exterior com o envidraçado é de $0.02 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e o coeficiente de transmissão térmica dos envidraçados com vidro triplo é de $0.89 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, sendo que os dispositivos de sombreamento exteriores filtram 88% da radiação solar incidente [24].

2.6.1.4 Relação entre utilizador e o edificado

A família Simonsens, uma família inicialmente composta por quatro pessoas tendo este número sido alterado com o nascimento de um filho quatro meses depois desta família ter habitado a casa, em termos gerais apreciou a vivência no interior desta habitação, enaltecendo a sua eficiência energética, a abundancia de iluminação solar que esta oferecia. Mesmo assim existem aspectos que são apontados como possíveis melhorias a serem executadas no futuro [26].

É referido por esta família o bom desempenho dos componentes desta habitação na sua individualidade, mas a sua interligação como um todo ainda necessita de melhorias [26]. O primeiro exemplo de possível melhoria foi sentido logo no primeiro mês de habitação desta habitação. Em Agosto de 2009, quando o sol mais fortemente marcava presença no interior da habitação, Anna filha de 6 anos do casal, foi a primeira a sentir os efeitos excessivos de sol no interior da casa através de dores de cabeça. Este problema foi facilmente resolvido através da regulação do sombreamento das janelas [20].

No entanto, a iluminação natural no interior da casa destaca-se pela sua qualidade, proporcionando aos moradores uma melhor qualidade de vida e do conforto interno.

O testemunho deixado pela família residente atesta os testes feitos referente à iluminação no espaço interior. Segundo a mesma, é gasto muito menos iluminação artificial do que na sua antiga casa, destacando as excelentes condições de iluminação solar registada no interior da Home for Life.

O sistema de aquecimento passivo aproveitado pela grande área de envidraçados teve, por parte desta família, um comportamento desfavorável em relação ao seu funcionamento. A quantidade de calor que chega ao interior da habitação por esta via, chega por vezes a ser excessiva, alcançando-se picos de temperatura interna desconfortáveis para quem a habita. Apesar da elevada eficiência energética da Home for Life, segundo o testemunho dos Simonsens, é muito difícil controlar a quantidade de energia recebida pelo edifício através do Sol [26].

É também feita uma sugestão quanto à automação e sua interface. É sugerido pelos Simonsens um sistema adaptativo de automação, por forma a adaptar-se ao tipo de utilizadores e um interface gráfico do dispositivo de monitorização melhorada, para que até uma criança o consiga controlar.

A 30 de Novembro de 2009, nasceu uma filha na família Simonsens. Com a chegada do novo membro ao seio familiar, as necessidades de lavagem de roupa aumentaram surgindo um problema que até então nunca se tinha posto. A forma tradicional de secagem de roupa ao Sol não estava a funcionar, estando num período de chuvas e de pouco Sol. Para colmatar esta falha a família decidiu adquirir um secador de roupa para resolver o problema, sempre numa escolha de produto de melhor eficiência energética [20].

De modo unânime, esta família teve prazer em viver nesta habitação, mostrando-se bastante entusiasta por poder observar uma habitação que gera energia e apresenta um baixo consumo energético [27].

2.6.2. O edifício “RuralZED”

Em 2008 foi construído em Upton, perto de Northampton na Inglaterra, para a Metropolitan Housing Trust um Eco-bairro constituído por edifícios, que pela primeira vez foram avaliados com o Código nível 6 ou seja, pela primeira vez no Reino Unido um edifício atingiu a marca de altamente sustentável e de carbono zero. Estes edifícios são o RuralZED (Figura 2.22) [28].

Este código para habitações sustentáveis foi lançado a 13 de Dezembro de 2006 pelo Departamento das Comunidades e do Governo Local para permitir uma mudança na construção de novas habitações sustentáveis e substituir as antigas classificações. Para esta classificação, são dadas às habitações classificações de uma a seis estrelas, em que o Código nível 1 corresponde a uma habitação termicamente eficiente e o Código nível 6, contemplando todos os anteriores códigos, corresponde a uma habitação de carbono zero [29].

O RuralZED foi desenvolvido pela empresa ZEDfactory com a finalidade de ser um edifício carbono zero, de balanço energético quase zero, rápido de construir, com sistemas domésticos eficientes, que combina a microprodução com pequenos sistemas de biomassa e tem em conta o aproveitamento das águas da chuva para uso não potável [30].



Figura 2.22 - Edifício RuralZED [30]

2.6.2.1 Objectivos

Num cenário mundial de carências energéticas, que nos últimos dez anos registou uma inflação de 8% ao ano no preço dos combustíveis, existe a necessidade de redução de consumos energéticos. Actualmente e de acordo com a normativa europeia, o governo britânico definiu que até 2016 todos os novos edifícios de habitação terão de ser Código nível 6, altamente sustentável e de carbono zero [29].

É nesta conjuntura que surge o RuralZED, que se compromete uma solução de habitação de carbono zero, de balanço energético quase zero, rápido de construir, com sistemas domésticos eficientes, que combina a microprodução com pequenos sistemas de biomassa, como já foi anteriormente referido, projectada para não necessitar de qualquer combustível fóssil para o seu funcionamento, sendo um edifício pioneiro, tanto ao nível do tipo de construção, como das soluções que nele se apresentam.

2.6.2.2 Características

Um dos aspectos que diferencia este edifício de outro qualquer é a possibilidade de poder ser melhorado energeticamente, ou seja, o RuralZED está disponível num modelo estrutural padrão de Código nível 3 possibilitando a melhoria até ao Código nível 6. Esta possibilidade que este edifício tem de se poder melhorar energeticamente, permite que uma família possa usufruir de uma habitação altamente sustentável e de carbono zero de uma forma faseada, oferecendo soluções para qualquer que seja a orientação do edifício, com uma logística habitacional do bairro onde se insere de 50 habitações por hectare, ou seja, cada uma destas habitações terá uma área de terreno de 200 m², com uma área de implantação de 60 m² [30].

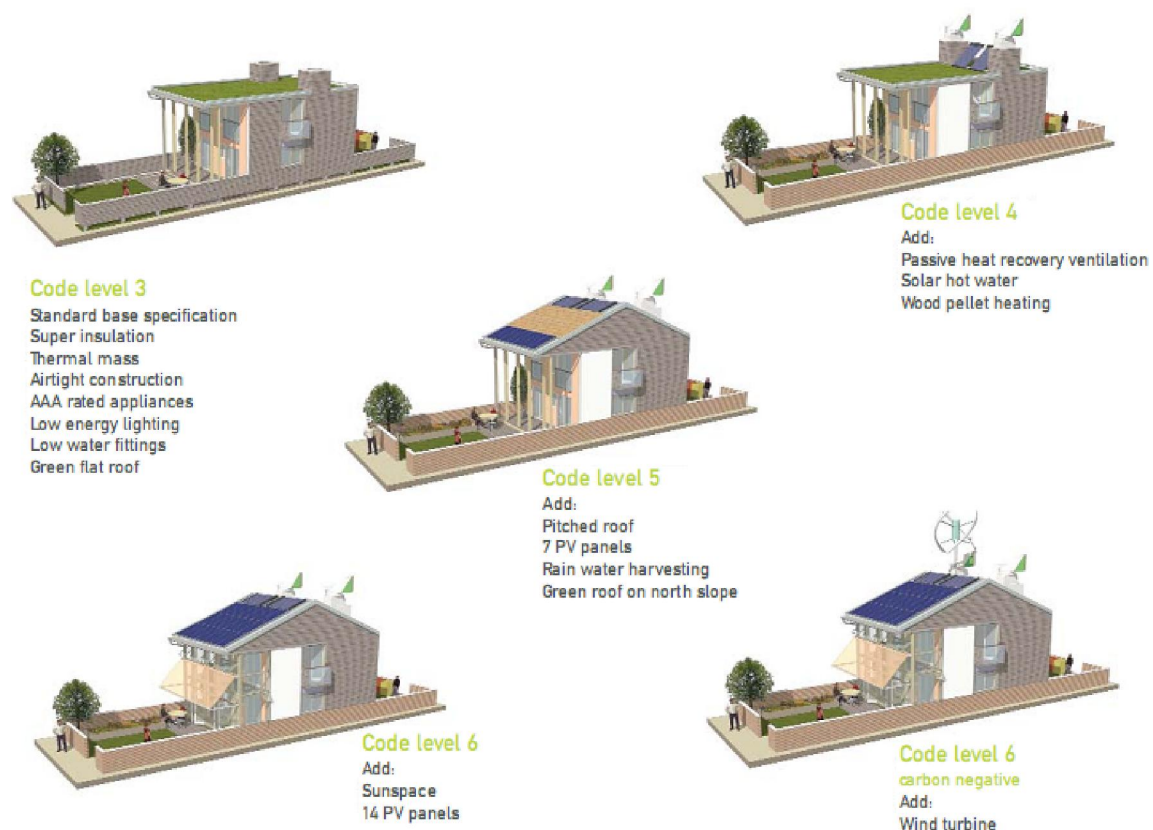


Figura 2.23 - O RuralZED e os seus níveis de sustentabilidade [30]

Como pode ser observado na figura acima, o RuralZED de Código nível 3 é um modelo de edifício padrão de classe energética A++, com bom isolamento térmico e inércia térmica, equipamentos de classe energética A++, hermética, com iluminação de baixo consumo, com acessórios hidráulicos com baixo consumo de água e cobertura plana verde, podendo evoluir até ao Código nível 6. Chegando ao máximo evolutivo do edifício, estaríamos na presença, do que para além já foi referido, de uma habitação com sistema de ventilação passiva com recuperação de calor, colectores solares, sistema de aquecimento com granulado de madeira, cobertura inclinada em que a aba Norte é uma cobertura verde, 21 painéis fotovoltaicos, sistema de recolha das águas da chuva e estufa envidraçada, com a opção final de uma turbina eólica.

Focando-me nas RuralZED com orientação Norte-Sul, estas são habitações com 10 m de comprimento e 6 m de largura com dois pisos. O piso térreo é composto por uma casa de banho, cozinha, sala de estar e sala de refeições, ambas com acesso à estufa que tem ligação para o exterior da casa. O piso superior tem três quartos e uma casa de banho comum aos três, como se observa na Figura 2.24.



Figura 2.24 - Plantas do piso térreo, primeiro e cobertura do RuralZED [30]

2.6.2.3 Soluções técnicas

Numa conjuntura de carência energética, de escalada dos preços da energia e combustíveis, de grandes desafios ambientais e da necessidade de melhoria da forma como se constrói, surge o RuralZED.

Com desenho arquitectónico apelativo de carácter mais rural, este edifício habitacional surge como uma solução individual e colectiva de produção de energia, com área exterior destinada à produção alimentar, preocupado tanto com os desafios ambientais da construção como também com o conforto interno da habitação.

Em termos de mercado imobiliário, o RuralZED veio deitar por terra a velha e antiquada ideia, que construir bem um edifício de balanço energético fica caro e não é rentável.

Iluminação

É através da forma como está arquitectada e das suas janelas de elevado desempenho e eficiência, que a RuralZED fornece uma excelente iluminação solar interior e ganhos solares durante todo o ano. Para prevenir o sobreaquecimento durante o Verão, sobretudo na fachada Sul, estão instalados dispositivos de sombreamento mecânicos dispostos de forma a não impedir a visibilidade ao utilizador entre o interior e o exterior da habitação.

Quando a iluminação natural é débil ou inexistente, esta é auxiliada ou substituída pela iluminação artificial interior. Esta iluminação é conseguida através da combinação entre lâmpadas LED e lâmpadas fluorescentes compactas, que devido ao seu baixo consumo energético, elevada eficiência energética e excelente conforto visual, foi dada como a melhor solução para a iluminação interior [30].

Ventilação

A ZEDfactory fornece um sistema de ventilação para arrefecimento passivo com recuperação de calor e extracção de ar por forma a garantir um bom conforto interno, boa qualidade do ar no interior da habitação com perdas mínimas de calor. Funciona através de extractor de ar por catavento, que faz funcionar todo o sistema de ventilação natural como um sistema de ventilação forçada, sem recurso a ventiladores eléctricos. Este sistema dispõe de condutas dedicadas para a entrada e saída de ar, bem como para o sistema de recuperação de calor, utilizando o vento como elemento criador de pressão positiva para admissão de ar e negativa para a evacuação de ar, assegurando um caudal de ventilação entre 50 l/s e 70 l/s, calculado com base na velocidade média de vento em Londres de 4 m/s e com uma eficiência energética de sistema de 70% [30, 31].

Energia

Em termos energéticos o RuralZED apresenta francas vantagens em relação a uma habitação convencional. Para além da forma que é construída, as vantagens dos sistemas energéticos e de produção de energias por fontes renováveis são realmente notáveis.

Esta habitação produz energia eléctrica através de painéis fotovoltaicos, cada um com uma potência de pico de 180 W_p e uma área de 1580x800 mm, o que perfaz 1,264 m² por painel fotovoltaico. Ao todo, são instalados 21 painéis fotovoltaicos, com uma área total de

26,54 m², uma potência de pico no total de 3780 W_p, capaz de uma produção eléctrica de 2995 kWh/ano, ou seja, uma capacidade de produção anual de 112,9 kWh/m²/ano [32]. Neste sistema vem incorporado um alternador de corrente de 3.6 kW, que permite receber a corrente eléctrica continua produzida nos painéis fotovoltaicos e convertê-la em corrente alternada, possibilitando a venda de energia eléctrica à rede eléctrica nacional [31].

Segundo a ZEDfactory, 10 painéis com uma potência de pico 1800 W_p chegam para fornecer metade das necessidades eléctricas de uma sua habitação [33].

Para além de uma habitação de Código nível 6, ou seja, o topo da classificação, existe disponível uma melhoria energética, discriminada por RuralZED de Código nível 7, que consiste na instalação de uma turbina eólica de eixo vertical no edifício, aumentando assim a produção de energia [30]. Esta turbina é capaz de gerar uma produção energética para ventos baixos, de 4 m/s a 5 m/s, de 1500 kWh/ano [33].

O aquecimento de águas está ao encargo dos dois colectores solares e de uma caldeira de combustão de granulado de madeira. Estes colectores possuem uma área, cada um, de 3,5 m² o que no seu conjunto perfaz 7 m². Estes painéis, no seu conjunto, têm uma capacidade estimada de produção energética de 16,3 kWh/m²/ano [30]. Este sistema está apoiado por uma caldeira de 300 litros, com uma eficiência energética de 90%, de onde é distribuída a água quente da habitação, podendo funcionar para aquecimento da habitação e simplesmente como forma de armazenagem de água quente. Esta caldeira tem de nome comercial “Xcel 2009 Heat Bank” [34].

A esta caldeira estão ligados, também, um equipamento de combustão de biomassa na forma de granulado de madeira, semelhante, os radiadores instalados para aquecimento do ambiente e o sistema de aquecimento pelo soalho (piso radiante). O equipamento de combustão funciona como sistema de suporte aos colectores solares, para os dias em que estes não conseguem aquecer a água de forma desejada, o que pode acontecer no Inverno em que não existe tanta radiação solar incidente nos colectores solares, ou para quando as necessidades de água quente, tanto para aquecimento do espaço interior como também para consumo, excede a capacidade produtiva dos colectores [35].

O aquecimento do espaço interior desta habitação é conseguido através de radiadores hidráulicos colocados nas paredes do interior da habitação e do sistema de aquecimento pelo soalho, mais conhecido por piso radiante [32].

Apesar desta produção energética ser de extrema importância, o balanço energético também tem em conta as reduções de consumos.

No interior desta habitação são utilizados somente equipamentos eléctricos de classe energética A ou superior. A iluminação é toda de classificação energética A++, enquanto os electrodomésticos são de classe A e estão instalados na cozinha, dos quais fazem parte uma

placa de indução eléctrica para preparar cozinhados, frigorífico de 245 l, exaustor de fumos e uma máquina de lavar loiça [31].

Materiais e soluções construtivas

A escolha dos materiais para a construção foi executada por forma a escolher materiais naturais, eficientes, com maior durabilidade, de reduzida pegada ecológica e fabricada com materiais da zona onde ocorre a construção.

A estrutura da RuralZED é de madeira com cinco gerações, o que lhe confere uma maior durabilidade e flexibilidade estrutural, conferindo ao seu interior um ambiente mais natural. As paredes são muito bem isoladas termicamente com lã mineral, reduzindo assim as perdas e ganhos de calor, o que, conjugado com a estanquidade ao ar desta habitação, permite conferir uma temperatura interna mais estável e melhor conforto interno. Entre os pilares exteriores de madeira, fica colocado o isolamento de lã mineral com 150 mm, preenchendo totalmente a caixa-de-ar. Pelo interior é colocado mais 200 mm de lã mineral no piso térreo e 150 mm no piso superior, eliminando as pontes térmicas que possam haver nos pilares de madeira, finalizada com um acabamento final de gesso cartonado com fibra de vidro ou em pranchas de betão reciclado pré-moldadas fixadas à estrutura de madeira, conferindo a este sistema resistência ao fogo. O revestimento exterior é executado com uma membrana para-vapor revestida com acabamento em tijolo, ripado de madeira e placas de silicato de cálcio isento de amianto, que consiste num isolante térmico de elevada rigidez e resistência ao fogo.

A estrutura do piso térreo é realizada com abobadilhas de tijolo assentes em vigas de madeira, onde assenta o piso radiante revestido com ladrilhos de pedra natural, placas de painéis de cimento e ladrilhos de betão, conforme seja o espaço da habitação. O chão do piso superior é muito idêntico ao do piso térreo com a inclusão de alcatifas nos quartos e de 5 mm de lã mineral sobre as abobadilhas.

Quanto à cobertura e dos materiais que a compõem a informação é escassa, sabendo-se apenas que a pendente virada a Norte é uma cobertura verde, composto com 30% por um tapete de Sedum que é um dos géneros de plantas da família das Crassulaceae e 70% com plantação de uma mistura de sementes nativas de flores silvestres, demorando cerca de 9 a 12 meses a crescer. Quanto à pendente a Sul, pelo interior são colocadas placas de gesso cartonado com fibra de vidro, com isolamento em lã mineral de 300 mm de espessura, barreira pára-vapor e acabamento final de chapas de alumínio contínuas ou telha plana de tijolo onde irão assentar os painéis fotovoltaicos e os colectores solares [31].

Os envidraçados possuem a caixilharia de madeira de elevada qualidade, laminada para evitar a torção e empenamentos, tratada com fungicidas para evitar ataques biológicos à madeira, tendo um acabamento final com tinta de base aquosa que permite garantir qualidade,

longevidade e um maior tempo de serviço. Estes são de vidro triplo, com Árgon entre os panos de vidro e com filtro solar de baixa emissividade, obtendo assim um coeficiente de transmissão térmica para os envidraçados de $0.9 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. Este tipo de envidraçados possuem melhor comportamento térmico que um envidraçado em vidro duplo corrente e melhora o desempenho térmico do edifício. Assim, as transferências térmicas por radiação diminuem através da colocação do filtro solar de baixa emissividade no envidraçado e reduzem-se, também, as transferências por condução e convecção através de uma substituição do ar, que se encontra entre os dois panos de vidro, por um gás mais pesado, sendo neste caso Árgon. Já os envidraçados da cobertura são somente de vidro triplo com baixa emissividade, garantindo-lhe um coeficiente de transmissão térmica de $1.0 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$.

É importante referir os valores dos coeficientes de transmissão térmica para os elementos da envolvente. As paredes apresentam um coeficiente de $0.15 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, os pisos $0.12 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ e a cobertura de $0.1 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ [36].

2.6.3. O edifício “BedZED”

O Beddington Zero Energy Development, ou BedZED, projecto iniciado pela BioRegional e desenvolvido pela Peabody em parceria com a BioRegional e projectada por Bill Dunster Architects, foi finalizado em Março 2002 e totalmente ocupado em Setembro de 2002, situando-se em Hackbridge, perto da cidade de Londres na Inglaterra.

O BedZED, Figura 2.25, é um eco bairro de uso misto, composto por 82 habitações e 2500 m^2 de área para unidades de trabalho/habitação, influenciado pela política governamental no Reino Unido, de todas as novas habitações construídas devem alcançar o carbono zero até 2016 e avaliado através do código para habitações sustentáveis, já abordado no caso do RuralZED, existindo então a necessidade de construir habitações mais sustentáveis e de carbono zero com uma melhor relação custo eficiência [37].

A estratégia para alcançar o carbono zero passou pela redução das necessidades energéticas dos edifícios através de isolamento térmico e hermeticidade dos espaços, dotando as habitações com electrodomésticos com baixo consumo energético e tentando orientar os utilizadores para um melhor uso da energia disponibilizando os gastos energéticos em mostradores. Tendo-se reduzido as necessidades energéticas, implementam-se medidas para produção de energia por fontes renováveis [38].

O edifício BedZED é composto a Norte por uma zona destinada a unidade de trabalho/habitação e a Sul destinado à zona residencial que está dividida em dois. No piso térreo encontra-se um apartamento com um quarto, cozinha, casa de banho e sala de refeições com acesso ao jardim exterior situado no pátio a Sul.



Figura 2.25 – Edifício BezzED [39]

O primeiro e segundo piso são destinados a uma “*maisonette*”, em que o primeiro piso está dividido em uma cozinha, sala de refeições, sala de estar, casa de banho, varanda com acesso a um jardim exterior no piso térreo e o segundo piso dividido em três quartos, uma casa de banho e uma varanda, com este a ter acesso ao jardim exterior na cobertura Norte, como mostra a Figura 2.26.

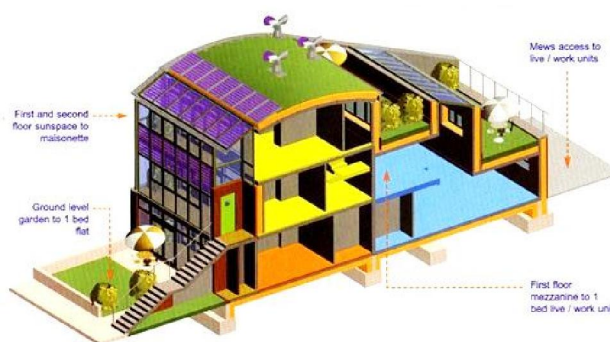


Figura 2.26 - Conjugação arquitectónica entre área residencial com a área trabalho/habitação no BezzED [40]

A importância deste eco bairro é analisar o conjunto de metodologias tidas em conta em termos energéticos, por forma a recolher a globalidade de medidas energéticas adoptadas.

2.6.3.1 Objectivos

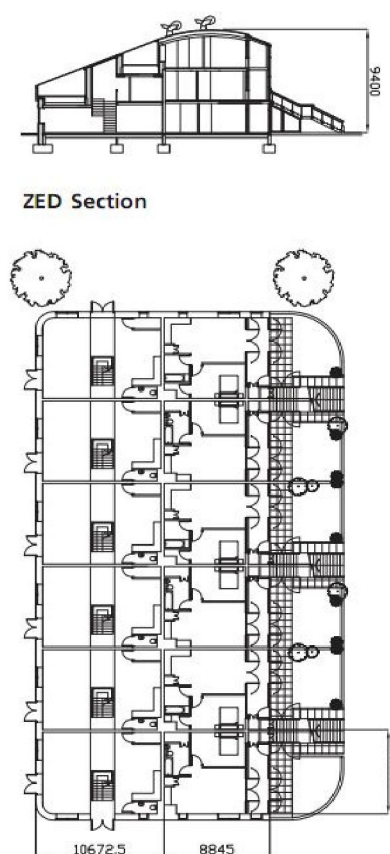
Considerando que os edifícios são responsáveis aproximadamente em 50% das emissões de carbono a nível mundial e em que o sector doméstico foi responsável por 29% dos consumos

energéticos do Reino Unido, o BedZED ficou famoso por ser o primeiro empreendimento construído no Reino Unido com a intenção de neutralizar as emissões de carbono na construção, manutenção e uso dos edifícios. Este oferecia uma arquitectura fora dos padrões habituais e encorajando um de estilo de vida mais sustentável.

Ao nível da habitação BedZED os principais desafios que se propõem alcançar centram-se na não utilização de combustíveis fósseis no alojamento, uma redução em 33% na energia do sector doméstico comparado com a média dos alojamentos britânicos, redução de 90% das necessidades de aquecimento, aproveitamento das energias renováveis, redução em 33% nos consumos de água, redução em 50% da quilometragem dos carros movidos a combustíveis fósseis, redução do lixo e incentivar a reciclagem, uso de materiais de construção provenientes da zona de construção delimitada por um raio de 50 km e proporcionar condições para a existência de agricultura residencial [39].

Pretende-se alcançar estes objectivos através de uma abordagem sensível que combine melhorias significativas na eficiência energéticas dos alojamentos, baixo consumo energéticos dos edifícios e a exponenciação da capacidade de produção de energia renovável [38].

2.6.3.2 Características



O edifício BedZED foi construído com o intuito de minimizar as emissões de carbono, cumprindo assim a normativa britânica em vigor, melhorar as condições de vida dos seus ocupantes, tornando o seus estilos de vida mais ecológicos, reflectindo nos edifícios de habitação as preocupações com a sustentabilidade de um planeta que vem sendo explorado acima das suas possibilidades.

Este edifício caracteriza-se pela sua elevada inércia térmica, o que, conjugado com a elevada resistência térmica das suas paredes exteriores reduz as perdas de calor e consequentemente as suas necessidades de aquecimento. As fachadas viradas a Sul maximizam a exposição solar da habitação, possibilitando um aumento dos níveis de iluminação natural, conferindo um melhor conforto visual ao interior da habitação [39].

Figura 2.27 - Corte e planta do 1º piso de um quarteirão do BedZED [37]

Os materiais deste edifício foram escolhidos tendo em conta os seus impactos ambientais de forma a serem minimizados, tentando sempre uma opção de proximidade da zona de construção [41].

O aquecimento interno é executado de forma passiva pela exposição solar da fachada Sul, do calor corporal dos ocupantes, o calor gerado pela iluminação artificial e electrodomésticos, do calor gerado na confecção dos produtos alimentares, do calor das águas quentes e do calor gerado pela estação de combustão de biomassa que gera calor aproveitado para aquecimento de águas e do espaço. Esta estação é também responsável pela produção de energia do BedZED.

Quanto ao aproveitamento energético de fontes renováveis, foram instalados painéis fotovoltaicos para o abastecimento energético de carros eléctricos.

Os electrodomésticos escolhidos para o edifício foram escolhidos pela sua eficiência energética, sendo todos de classe energética A [38].

2.6.3.3 Soluções técnicas

O edifício BedZED surgiu, em termos arquitectónicos, com um carácter inovador e diferenciado do modelo padrão de edifício, que privilegia um estilo de vida mais “verde” oferecendo, na maioria das habitações, o usufruto do seu próprio jardim.

A abordagem feita no planeamento deste eco bairro, já abordado anteriormente, tinha como alvo a criação de um edifício que combinasse a melhoria energética das habitações pela eficiência energética, o baixo consumo energético e uma elevada capacidade de aproveitamento dos recursos renováveis para produção eléctrica.

Iluminação

O BedZED oferece uma excelente iluminação natural no interior dos seus apartamentos, reduzindo assim a necessidade de utilização da iluminação natural no seu interior, em grande parte devido à fachada Sul, que obtêm, através dos seus abundantes envidraçados, este excelente conforto visual e através de clarabóia quando a “*maisonette*” está colocada no piso térreo e primeiro piso. Quanto à zona Norte, espaço destinado ao trabalho/habitação, a iluminação é feito, a partir da clarabóia que, da forma como o edifício está projectado, permite a entrada de luz solar que com a colaboração das janelas das fachadas, iluminam o espaço interior.

A média anual de consumo energético da iluminação numa habitação no Sul de Inglaterra é de 606 kWh/ano usando lâmpadas de 100 W. Esta tem um gasto anual inferior em 80%, apresentando gastos energéticos de 121 kWh através do uso de lâmpadas de baixo consumo energético. No interior de cada habitação foram instaladas lâmpadas fluorescentes compactas

com 20 W, que devido à sua eficiência apresentam igual desempenho de lâmpadas correntes de 100 W [38].

Ventilação

Estas habitações padecem de uma saudável ventilação, conseguida de forma passiva com recuperação de calor através de tubagens dedicadas a este efeito, com ligação a um catavento responsável pela admissão e exaustão do ar interior e também através das clarabóias, ambas independentes, uma colocada na zona trabalho/habitação e outra colocada na zona destinada à habitação. Desta forma as chaminés catavento, as clarabóias e as janelas do edifício têm um papel determinante na renovação do ar interior, o que permite uma agradável vivência interna.

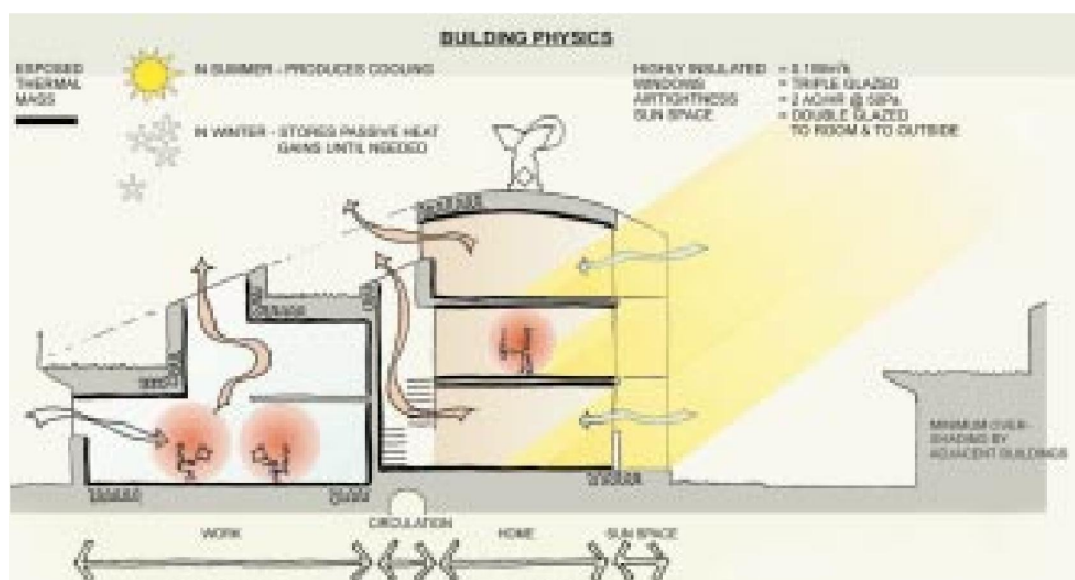


Figura 2.28 - Comportamento físico do edifício BedZED [38]

A temperatura interna do edifício rondará os 18-21°C, sendo que para valores inferiores os dispositivos instalados são activados para aquecimento do interior e para valores superiores, em que a ventilação natural não esteja a fazer o efeito esperado, os utilizadores terão de abrir as janelas para aumentar a ventilação da habitação [38].

Energia

Segundo a BioRegional, o consumo médio de electricidade no BedZED apresenta-se em 34.4 kWh/m²/ano, tendo por base a monitorização de 56 habitações de diferentes assoalhadas e com diferente número de ocupantes, quando a média no Reino Unido é de 45.5 kWh/m²/ano, ou seja, o BedZED apresenta um consumo de electricidade inferior à média de 24.4%. Já em termos de aquecimento do espaço interior das habitações, o BedZED apresenta um consumo de

59 kWh/m²/ano enquanto a média no Reino Unido é de 140 kWh/m²/ano, sendo notório um melhor desempenho térmico e energético destas habitações [41].

Para fazer face a estes consumos existe uma estação de combustão de biomassa, proveniente da limpeza de árvores, que fornece electricidade ao eco bairro, para além de fornecer água quente e calor para aquecimento do espaço interno das habitações. Esta estação foi arquitectada por forma a fazer face a 100% das necessidades energéticas deste eco bairro.

O desenho arquitectónico do BedZED reduziu em 80% as necessidades de aquecimento das habitações.

No BedZED foram instalados 777 m² de painéis fotovoltaicos, nas coberturas e nas janelas das fachadas viradas a sul. O objectivo inicial destes painéis era poderem carregar 40 carros eléctricos, mas visto que o aparecimento deste tipo de carros tem sido lento, a energia aqui produzida foi introduzida nas habitações para poder ser consumida. Estimava-se que a produção anual destes painéis fosse aproximadamente de 108000 kWh/ano [39].

A redução dos consumos energéticos é também uma preocupação tida em conta. Uma das formas de poupar energia, para além da iluminação artificial já enunciada, é através de electrodomésticos de classe energética A. Foram instalados nas habitações electrodomésticos de embutir, tais como, frigorífico e máquina de lavar roupa. Para além desta medida, foram instalados os contadores de água e electricidade na cozinha, num sítio de fácil visibilidade para que os ocupantes possam visualizar o que estão a gastar, funcionando esta medida como mecanismo inibidor ao consumo energético.

Globalmente, conseguiu-se uma redução de gastos energéticos de 12% no aquecimento do espaço interior, 43% na produção de águas quentes e 75% nos consumos eléctricos do eco bairro, tendo como base de comparação os consumos médios do Reino Unido [38].

Ao nível residencial, tendo em conta os consumos energéticos do ano de 2007, registou-se uma redução em 79,3% no aquecimento do espaço interior e aquecimento de água e 24,4% na electricidade, em relação à média do Reino Unido, como se pode ver na Tabela 2.9 [39].

Tabela 2.9 - Consumo energético total residencial do BedZED, 2007 [39]

	Unidades	BedZED em 2007	Média do Reino Unido em 2002
Aquecimento do espaço interior e aquecimento de águas	kWh/m ² /ano	48	231,8
Electricidade	kWh/m ² /ano	34,4	45,5
Total	kWh/m ² /ano	82,4	275,3

Importa frisar, que a estação de combustão de biomassa está hoje encerrada, devido aos seus custos de manutenção, sendo os painéis fotovoltaicos responsáveis por toda a produção de energia eléctrica do BedZED. Estima-se que o balanço energético relativo ao consumo de energia eléctrica do eco bairro rondará os 235703 kWh/ano [39].

Materiais e soluções construtivas

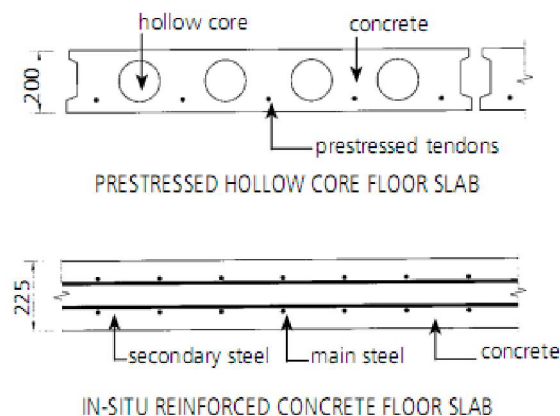


Figura 2.29 - Pormenor construtivo das lajes alveoladas de betão armado do BedZED [41]

O sistema estrutural desta construção é em aço, sendo esta uma estrutura metálica. 95% do aço usado nesta construção era reciclado, tendo em conta ser mais barato e ser uma medida mais amiga do ambiente que comprar aço novo. Desta forma, as vigas e pilares desta estrutura são perfis de aço em I. As lajes, são lajes alveoladas de betão armado pré-esforçadas de 200 mm de espessura (Figura 2.29), montadas em obra e finalizada com a armadura superior e betonagem, o que dará uma espessura final de 225 mm. Desta forma, para além de poupar tempo de construção, poupa também dinheiro. O uso de lajes de betão é excelente pois aumenta a inércia térmica do edifício, fornece melhor isolamento acústico, sendo um material muito resistente.

As paredes exteriores diferenciavam-se pelo padrão médio de construção, devido à espessura de isolamento térmico que estas continham, possuindo uma elevada inercia térmica e resistência térmica à transmissão de calor. Estas são compostas por dois panos de alvenaria, tijolo furado pelo exterior e blocos de betão pelo interior, com isolamento térmico com 300 mm de lã de rocha, conferindo-lhe um coeficiente de transmissão térmica de $0.10 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. O revestimento exterior das paredes exteriores é assim em alvenaria de tijolo maciço, possuindo zonas onde possui revestimento em madeira. No caso das coberturas já é diferente, tanto no isolamento como na sua concepção [42].

Como se pode ver Figura 2.30, a cobertura é composta por um tapete de Sedum, que é um dos géneros de plantas da família das Crassulaceae [43], colocado sobre uma manta de fibra mineral onde são colocadas e fixadas as plantas, revestimento térmico de poliestireno extrudido, XPS, com 300 mm de espessura, membrana impermeabilizante e as lajes alveoladas de betão armado pré-esforçado com acabamento interior, conferindo-lhe um coeficiente de transmissão térmica de $0.11 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ [42].

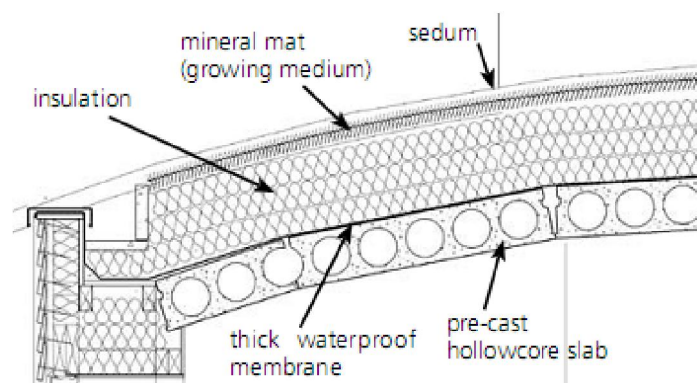


Figura 2.30 - Pormenor construtivo da laje de cobertura do edifício BedZED [41]

Já os jardins da cobertura, Figura 2.31, são compostos de outra forma. Estes são constituídos por 300 mm de terra fertilizada, manta geotêxtil, 300 mm de isolamento térmico de poliestireno expandido, EPS, betonilha de betão e laje alveoladas de betão armado pré-esforçado, conferindo-lhe o mesmo coeficiente de transmissão térmica de $0.11 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

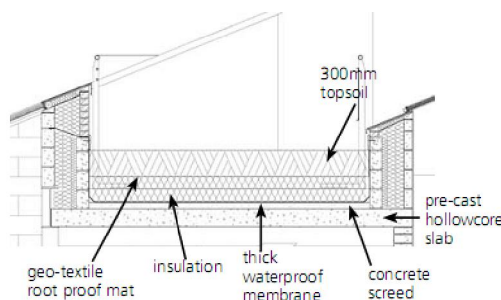


Figura 2.31 - Pormenor construtivo do jardim de cobertura [41]

As lajes entre pisos são lajes alveoladas de betão armado pré-esforçado, o que confere à habitação maior inércia térmica. A importância tanto das lajes alveoladas de betão armado, como das paredes exteriores é permitir que durante o período de exposição solar o edifício possa acumular o calor através da sua inércia térmica e durante a noite esse calor armazenado possa ser libertado para o interior da habitação, diminuindo assim as necessidades de aquecimento e arrefecimento da habitação. Os elementos de divisão entre pisos, as lajes, apresentam um acabamento na face superior em ripado de madeira reciclada [41].

Os envidraçados são de vidro com caixilharia em madeira tratada em todas as fachadas, com Crip-ton entre os panos de vidro, com duas películas de filtro solar, de rotação vertical e eixo lateral, à excepção das clarabóias cujas caixilhari- as são em alumínio. Este tipo de envidraçados possuem melhor comportamento térmico que um envidraçado em vidro triplo corrente e melhora o desempenho térmico do edifício, devido ao aumento da resistência térmica do envidraçado com a inclusão de Crip-ton na zona entre panos de vidro. As portas envidraçadas exteriores são construtivamente iguais aos envidraçados de vidro triplo mencionados. O

coeficiente de transmissão térmica destes envidraçados de vidro triplo, das clarabóias e das portas envidraçadas exteriores é de $1.20 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$ [44].

Este sistema só é assim nas zonas de envolvente exterior, sendo que nas varandas os vidros utilizados são vidros duplos, com Árgon no espaço entre panos de vidro, eixo rotacional horizontal no topo, uma película de filtro solar, com a finalidade de durante o Inverno e com a exposição solar sentida na fachada Sul, onde estão colocadas estas varandas, estas possam aquecer o ar interior da varanda e por consequência, criar um mecanismo de aquecimento do ar interior sem utilização de dispositivos adicionais [41].

2.6.3.4 Relação entre utilizador e o edificado

A BioRegional [44], promoveu um questionário a ser entregue aos moradores do eco bairro. 44% das respostas aos questionários afirma que a temperatura interna no Inverno é a ideal, mas durante o Verão 56% afirma que a habitação está demasiado quente ou simplesmente quente, notando-se desconforto no interior da habitação. Uma das causas para este problema é a não utilização das varandas e das janelas da habitação para arrefecimento das habitações, que seria facilmente executado através do abrir das janelas para permitir a entrada de ar fresco no interior e não permitir o sobreaquecimento das varandas.

Durante o Verão, funcionários do BioRegional, numa das suas visitas ao BedZED, constataram este facto. Grande maioria das janelas das habitações estava fechada, devido ao receio dos moradores a possíveis assaltos, o que leva a pensar que este factor não foi tido em conta em fase de projecto. Foi experienciado, que o edifício para exposição do BedZED, mantendo as janelas fechadas mas abrindo as janelas das varandas, a temperatura interior mantinha-se fresca e agradável.

Os utilizadores, mostram-se satisfeitos quanto à iluminação interior e com os gastos reduzidos em iluminação artificial. Da mesma forma, a qualidade do ar interior é um ponto positivo assinalado.

Quando questionando os utilizadores sobre pontos a favor às habitações, as varandas instaladas nas fachadas Sul foi a resposta mais recebida, demonstrando o apreço por esta divisão, que em grande maioria das vezes é utilizada como espaço de convívio, local para cultivo de plantas, usada para arrumos, como até zona para secagem da roupa.

Os moradores foram também questionados a darem a sua opinião sobre o que gostavam no eco bairro e nas suas casas, como também, aquilo que não gostavam.

De acordo com a documentação disponibilizada pela BioRegional, os pontos a favor recaiam sobre a convivência social do bairro, tendo este um bom espírito comunitário, de gostarem dos vizinhos, de louvarem a arquitectura e estética do edifício tal como a sua funcionalidade e do aspecto diferenciado da sua arquitectura em relação à maioria dos edifícios

no Reino Unido. Quanto às suas próprias habitações, a maioria referiu a qualidade do ar interno das suas habitações, do conforto térmico que se sente no interior, ou seja, a habitação é fresca de Verão e quente no Inverno e a inexistência de barulho vindo da rua.

A mesma documentação fornece também os pontos desfavoráveis dos moradores. Segundo os questionados, a localização do eco bairro levanta queixas devido à sua localização nos subúrbios de Londres e a falta de serviços locais. Existe também problemas com o abastecimento de água quente depois da estação de combustão de biomassa ter deixado de funcionar. Questionados sobre os pontos desfavoráveis das suas habitações, denotaram-se reclamações no sistema de aquecimento das habitações, transferência de ruído de uma habitação para outra através das tubagens destinadas para a ventilação natural, que foi rapidamente resolvido com instalação de isolamento sonoro nestas e problemas com a facilidade de estacionamento dos automóveis.

De uma forma geral, os moradores do BedZED mostram-se satisfeitos com a qualidade, arquitectura, espaço, conforto interno e iluminação das suas habitações [39].

2.6.4. O edifício “Solarsiedlung”

Da autoria do arquitecto Rolf Disch, concluído em 2006, surge o Solarsiedlung, Figura 2.32, na colina de Schlierberg em Freiburg no Sudoeste da Alemanha, um dos locais mais soalheiros deste país, usufruindo duma irradiação total anual de 1100 kWh/m², a uma temperatura média de 10°C. Esta zona da Alemanha tem sido o destino escolhido para testes na área da construção sustentável e da ecologia desde os anos 90.

Este edifício, inserido no programa da SHC, no âmbito da Task 40 e promovido pela IEA, servirá tanto de base de referência científica, como também de base de comparação aos edifícios até aqui analisados.

Este complexo é composto por 59 casas de habitação onde residem 170 pessoas, nove habitações das quais estão na cobertura, com zona comercial destinada a escritórios e lojas, que funcionam como barreira sonora a uma estrada que perto se encontra.

Estas habitações têm diferentes larguras e comprimentos estendendo-se por dois ou três andares, variando assim a sua área habitacional de 75 a 200 m². As divisões destas habitações foram dispostas segundo os princípios clássicos de edifícios solares, estando as salas de estar/jantar e os quartos na zona Sul das habitações, o acesso é feito pelo cento e as divisões destinadas a serviços são colocadas na zona Norte, como por exemplo, cozinhas, casas de banho e zonas de serviço.



Figura 2.32 - Edifício Solarsiedlung [45]

Este edifício tem uma característica que o diferencia da média dos edifícios, sendo esta a maior produção de energia de fonte renovável do que a energia que recebe da rede, ou seja, o balanço energético destas habitações é positivo.

Foram instalados contadores energéticos em 24 destas habitações, com o consentimento dos proprietários, e destes 24 só 20 recolheram dados válidos para uma amostragem energética anual. Foram contabilizados consumos de águas quentes e os gastos energéticos com iluminação e electrodomésticos. Foram ainda adicionados dispositivos, em 4 destas casas, para medição do conforto interno.

A concepção destes edifícios teve especialmente em foco o potencial das coberturas para aproveitamento da radiação solar anual e da radiação sazonal nas fachadas, por forma a aproveitar essa radiação no Inverno e limitá-la no Verão, como também no sombreamento de espaços exteriores. Um desvio de 45° na orientação de um edifício em relação ao Sul, não reduz significativamente os ganhos solares, no Inverno, das fachadas viradas a Sul.

Este edifício é assim desenhado como um edifício passivo, por forma a ter consumos energéticos muito reduzidos devido à sua elevada eficiência energética. Estes consumos energéticos serão então compensados com a produção de energia eléctrica dos painéis fotovoltaicos, instalados na cobertura.

Os baixos consumos energéticos desta habitação foram conseguidos através da adopção de medidas energéticas e construtivas. Estas habitações foram construídas com modelos padrão de casas passivas, tendo estas um elevado isolamento térmico das paredes exteriores, apresentando estas um coeficiente de transmissão térmica de $0.28 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, que conjugado com a eficiente ventilação com recuperação de calor, deram a primeira estratégia para redução de consumos energéticos.

Tabela 2.10 - Coeficientes de transmissão térmica do edifício Solarsiedlung [46]

Coeficiente de transmissão térmica [W/m ² .°C]				
Envolvente do edifício	Paredes exteriores	Janelas de vidro triplo e baixa emissividade	Pavimentos	Coberturas
0,28	0,12	0,7	0,16	0,11

Através da adopção de electrodomésticos com excelente eficiência energética de classe A++ e um manuseamento apropriado dos mesmos pelos utilizadores, reduzem-se os consumos eléctricos domésticos.

Todas as habitações deste edifício, estão conectadas a uma rede de abastecimento de calor às habitações, que funciona através de biomassa e gás natural, fornecendo assim calor às habitações quando assim for necessário, especialmente no Inverno, época em que os colectores solares não conseguem garantir a produção de água quente para consumo e para aquecimento do espaço interior das habitações.

Em média, uma destas habitações é habitada por 2.9 indivíduos, apresenta uma área de 138 m², 50 m² de painéis fotovoltaicos com potência de pico de 6.4 kW_p, o que dá 0.36 m² por painel com 46 W_p de potência de pico por metro quadrado de área aquecida. Em média estas habitações possuem um diferencial positivo de balanço energético de 36 kWh/m²/ano, em que os painéis são responsáveis pela produção de energia eléctrica de 79 kWh/m²/ano. No entanto, para se registar este diferencial positivo quanto ao balanço energético, o comportamento dos utilizadores tem de ser o mais apropriado, isto é, um mau comportamento na utilização da energia leva a aumentos dos consumos energéticos, o que não se prevê acontecer pois seria o utilizador o principal prejudicado.

Em média as habitações do Solarsiedlung Freiburg, apresentam um consumo de 30% de energia primária para aquecimento e para águas quentes, sendo o principal gasto energético de 70% em electricidade [46].

2.7. Síntese do estado de referência

O sector doméstico é o terceiro maior consumidor de energia final, registando 17,7% do total energético, sendo superado pelos sectores de transportes e indústria, destacando-se a electricidade como principal fonte energética, que detém 42,6% do consumo total energético em Portugal.

No consumo energético doméstico a electricidade é também a principal fonte energética, representando 38,1% do consumo energético neste sector, apresentando actualmente o território português uma cobertura eléctrica na ordem dos 99,9% do universo residencial. A electricidade é ainda a única fonte energética comum a todos os tipos de uso, reflectindo também desta maneira o aumento da electrificação nas habitações.

Comparando com os períodos homólogos de 1989 e 1996 em que se registaram taxas de consumo de 15,8% e 27,5% respectivamente, facilmente observa-se que o consumo de electricidade tem vindo a aumentar. Esta tendência deve-se em grande parte ao aumento das necessidades de conforto no interior das habitações, bem como também no número de electrodomésticos que tem vindo a aumentar no sector doméstico.

O consumo de energia no sector doméstico, *per capita*, foi de 0,30 tep, sendo que o consumo médio anual total de energia por alojamento encontra-se nos 0,742 tep/aloj.

A cozinha e os equipamentos eléctricos são os maiores responsáveis pelo consumo energético nas habitações, representando 73,4% do seu consumo energético global.

Quanto aos sistemas e tecnologias construtivas das habitações portuguesas, o cenário não seria certamente o desejado, tanto em relação à tipologia dos envidraçados como também na utilização de isolamento térmico nos elementos da envolvente exterior dos edifícios habitacionais.

Em Portugal, verifica-se que o vidro simples é o tipo de vidro mais utilizado no universo habitacional, compensando esta utilização com uma menor área de envidraçado quando comparado com os restantes dois tipos de vidro analisados. Apesar de ser um valor esperado é também um valor preocupante pois evidencia um maior gasto energético por parte das habitações para manterem o seu conforto térmico interior.

A preocupação de assegurar um melhor aproveitamento da exposição solar por parte das habitações, através da orientação da sua maior fachada a Sul, parece ser inexistente ou insignificante pois o número de fachadas viradas a Sul, Nascente e Poente é praticamente o mesmo.

Sabendo que o isolamento térmico é essencial numa habitação, fornecendo-lhe um melhor conforto interno através da resistência térmica que confere à envolvente exterior, diminuindo as trocas de calor entre o interior e o exterior das habitações, os números apresentados mostram que somente 21,1% das habitações portuguesas tem isolamento térmico nas paredes exteriores e só 18,9% tem isolamento de cobertura, o que levanta dúvidas quanto ao bom desempenho térmico das habitações em Portugal. Para além das condições de conforto interno de uma habitação sem isolamento térmico serem más, dependendo também do sistema construtivo da parede exterior, o gasto energético destas habitações será muito superior a uma que disponha isolamento térmico.

Tendo em conta que cerca de 52% do parque habitacional em Portugal apresenta a parede simples sem isolamento térmico, adopta-se como sistema construtivo mais representativo da tipologia de parede exterior em Portugal a parede de tijolo simples de 22 cm, sem isolamento térmico, com acabamento interior em estuque e exterior em reboco de argamassa tradicional.

Ao nível de Portugal e através do esforço tanto da União Europeia que impõe aos países membros, directivas comunitárias a fim de incentivar a aplicação de processos de certificação

energética que irão pressionar o mercado da habitação para regimes construtivos mais rígidos, eficientes e mais amigos do ambiente, por forma a melhorar o conforto das habitações, melhorar a eficiência dos edifícios e reduzir o desperdício de materiais e de melhores materiais, como também através do esforço interno que através de Decretos-lei, procura efectuar mudanças dos hábitos antigos e despesistas na construção.

Em Portugal os Decretos-lei em vigor são:

- Decreto-lei nº 78/2006 de 4 de Abril, ou seja, Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE);
- Decreto-lei nº 79/2006 de 4 de Abril, ou seja, Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE);
- Decreto-lei nº 80/2006 de 4 de Abril, ou seja, Regulamento das características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE).

Estes regulamentos vieram dar corpo, em Portugal, à Directiva Comunitária 2010/31/EU.

O conjunto de medidas que estão contempladas pela legislação em vigor sustenta a necessidade de aquisição de processos construtivos com a finalidade de alcançar, em Portugal, uma construção que seja sustentável, incentivando a eficiência energética dos edifícios. Desta forma, não só estaremos a construir melhor, como a melhorar a qualidade de vida dentro das habitações e a construir um mundo melhor para as gerações futuras.

Os edifícios anteriormente analisados, no estado de referência, de uma forma geral, ambos os edifícios, independentemente de serem uma habitação unifamiliar ou um edifício plurifamiliar, apresentam equipamentos para produção energética através de fontes renováveis semelhantes e formas de diminuição dos consumos energéticos semelhantes.

Fazendo uma análise comparativa dos coeficientes apresentados na Tabela 2.11, tendo por base os coeficientes de transmissão térmica do edifício Solarsiedlung, podemos verificar que quanto aos envidraçados, todos os restantes edifícios têm valores acima deste, denotando um pior comportamento térmico em relação ao edifício Solarsiedlung. Quanto a paredes exteriores só o RuralZED fica atrás do Solarsiedlung, sendo que em matéria de pavimentos e coberturas é o Solarsiedlung que tem a solução com pior comportamento térmico, mesmo que seja pouco significativa a diferença de valores. De uma forma geral, é o Home for Life que se apresenta, na sua globalidade, como o edifício que melhor comportamento térmico apresenta.

Tabela 2.11 - Coeficientes de transmissão térmica dos edifícios Home for Life, RuralZED, BedZED e Solarsiedlung

Edifício	Coeficiente de transmissão térmica [W/m ² .°C]			
	Paredes exteriores	Envidraçados	Pavimentos	Coberturas
Home for Life	0,10	0,89	0,07	0,07
RuralZED	0,15	1,00 - 0,90	0,12	0,10
BedZED	0,10	1,20	--	0,11
Solarsiedlung Freiburg	0,12	0,70	0,16	0,11

Duma forma geral podemos observar, pela tabela acima disposta, que ambos os edifícios tiveram preocupações semelhantes a quando da concepção da sua envolvente exterior.

De uma forma unanime, todos os edifícios utilizaram lâmpadas de melhor classe energética, denotando preocupações quanto à sua eficiência e quanto ao consumo energético, aumentaram o isolamento térmico das paredes exteriores comparativamente à prática comum, apesar dos materiais escolhidos na composição da envolvente serem diferentes, grande parte escolheu o envidraçado de vidro triplo com caixilharia de madeira e a opção por electrodomésticos da melhor classe energética foi transversal a todos os edifícios, recaindo a escolha por electrodomésticos de classe energética A++, excepto no caso do BedZED, que adoptou electrodomésticos de classe energética A, que tendo em conta o seu ano de construção, essa era a classe energética mais elevada.

Em termos de produção eléctrica por renováveis, a adopção do painel fotovoltaico foi uma medida com consenso geral, mesmo o BedZED que não os tinha previsto para utilização habitacional, acabou por alterar essa situação, na produção de águas quentes a questão divide-se, no caso de habitações unifamiliares a escolha de colectores solares é dada como a melhor solução, mas no caso de edifícios plurifamiliares a estação de combustão de biomassa parece agradar mais, levantando questões quanto aos aspectos de custo da manutenção e viabilidade quando se trata de habitações unifamiliares.

De todos os casos estudados, só uma habitação utiliza microgeração energética através de turbina eólica, não reunindo a unanimidade do consenso entre todos desconhecendo-se as razões da não adopção desta forma de aproveitamento energético.

Tendo em conta todos os edifícios analisados e pesar do Solarsiedlung e do Home for Life preverem um balanço energético positivo, apresentando, assim, um balanço energético zero, pode observar-se que o aspecto que difere de um edifício de balanço energético quase zero de um de balanço energético zero é a quantidade de energia que irá ser produzida.

3. Proposta de medidas, parâmetros e comportamentos a adoptar

Com a apresentação do presente capítulo, propõe-se o desenvolvimento de metodologias e estabelecimento de parâmetros de caracterização para uma habitação unifamiliar, por forma a esta alcançar o balanço energético quase zero, tendo por base o estudo até aqui já desenvolvido, com a finalidade de serem aplicadas a um edifício já existente.

A fim de alcançar num edifício um estado energético em que o seu balanço seja nulo, terão de ser aplicadas medidas sobre o edifício, tanto de cariz activo como passivo (Figura 3.1), de forma a reduzir as suas necessidades energéticas que serão colmatadas com a produção energética por fontes renováveis, atingindo-se, no final, um edifício residencial de balanço energético quase nulo

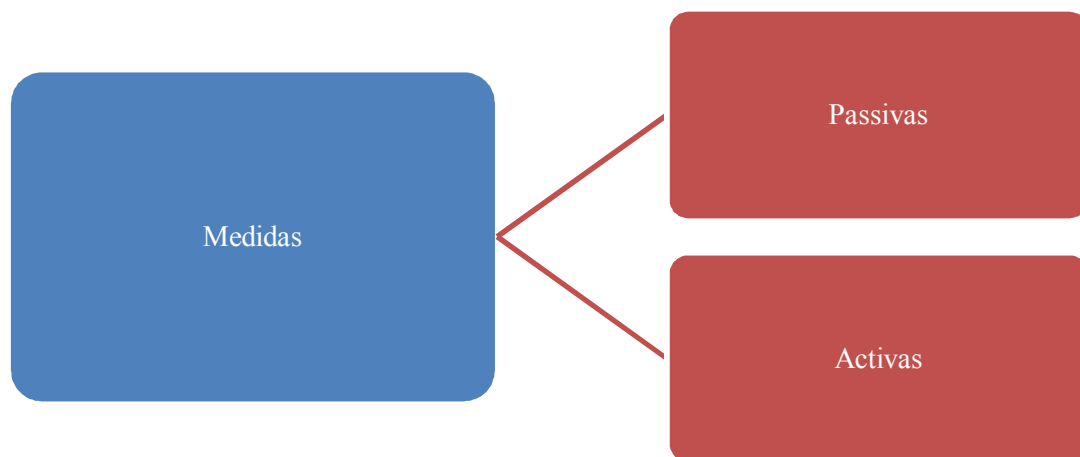


Figura 3.1 - Processo para alcançar o balanço energético quase nulo de um edifício residencial

3.1. Soluções passivas

Denominam-se por soluções passivas, as soluções que se referem ao controlo dos fluxos naturais de energia que ocorrem no edifício, em forma de calor ou radiação solar e acção do vento, à optimização das áreas passivas no interior da habitação, diminuindo as necessidades internas de iluminação artificial durante as horas de exposição solar, reduzir as necessidades de aquecimento e de arrefecimento no edifício.

3.1.1. Localização, orientação e forma do edifício

A localização, a forma e a orientação do edifício são as primeiras considerações a serem tidas em conta quando se pretende, em relação ao trajecto solar e aos ventos dominantes, a optimização de um edifício.

Nas zonas urbanas, deve ser analisado o impacto dos raios solares nas coberturas e nas fachadas dos edifícios, por forma a percebermos que influência a envolvente edificada tem no edifício que se pretende edificar, nomeadamente na criação de sombras ao nosso edifício. Por forma a promover uma ventilação natural no edifício, a análise da circulação de brisas frescas pode melhorar e promover uma melhor qualidade do ar interior do edifício [47].

A orientação de uma habitação é também um factor de extrema importância, tanto para o edifício como para os seus utilizadores. É através da orientação do edifício segundo os pontos cardiais, que este pode ter melhor ou pior desempenho energético e conforto interno, necessitando assim de mais ou menos energia para melhorar as condições de iluminação natural e temperatura interna.

Um edifício em Portugal, ou seja, situado no hemisfério Norte, deverá ter a fachada com maior área de envidraçados virada a Sul, privilegiando assim esta orientação, para potenciar a iluminação natural no interior do edifício e dos ganhos solares, como pode ser observado na Figura 3.2. Com o desenvolvimento da estação de Inverno o edifício tende a arrefecer, havendo transferência de calor do seu interior para o exterior. Através desta orientação, o edifício tem maiores ganhos solares, o que lhe permite uma perda de calor muito mais lenta, por forma a minorar a necessidade de aparelhos mecânicos para aquecimento interior. Com a chegada da estação de aquecimento, o edifício irá ter excesso de ganhos solares se não for devidamente protegido. Assim, deverá adoptar-se dispositivos de sombreamento, para limitar o aquecimento do edifício pela fachada Sul, sem pôr em causa a iluminação interna [48].

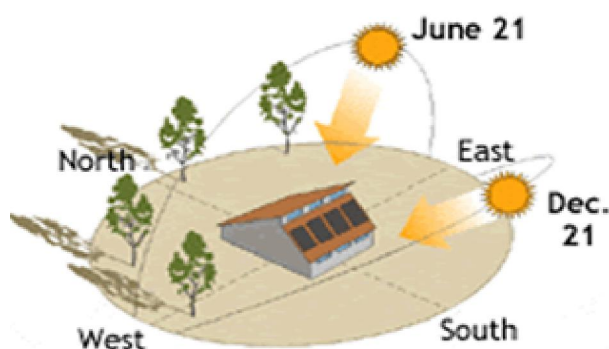


Figura 3.2 - Esquema ilustrativo da correcta orientação de um edifício situado no hemisfério Norte [49]

A questão da iluminação natural é também um ponto muito importante a ter em atenção, tendo em conta que uma boa iluminação natural no interior de um edifício implica uma redução da iluminação artificial e da factura energética associada.

No Inverno o sol encontra-se baixo no horizonte e mais afastado da terra, perdendo-se radiação solar, levando a que a iluminação possa penetrar na fachada Sul, iluminar o interior da habitação sem riscos de sobreaquecimento, desconforto visual e necessidades de sombreamento, possibilitando assim uma diminuição do consumo eléctrico em iluminação artificial. No Verão, época do ano em que o sol está mais alto mas também mais próximo da terra, a radiação solar atinge o seu valor máximo em toda a anuidade. Neste caso terão de ser utilizados dispositivos de sombreamento exterior, de forma proteger os envidraçados da forte exposição solar a que estarão sujeitos, para permitir boas condições de luminosidade no interior, sem ser em excesso, evitando também o sobreaquecimento do interior. Aconselha-se a colocação de sistemas de sombreamento exterior fixos, correctamente dimensionados, que permitirão o sombreamento das janelas durante o Verão e a entrada da radiação solar no Inverno no interior da habitação. Os dispositivos de sombreamento exterior são cerca de 70% mais eficientes do que os de protecção solar interior [50].

A forma do edifício também influencia o seu comportamento. Para um edifício ser eficientemente energético, deve ter um factor de forma ou uma relação superfície/volume (s/v) baixa [51]. Assim compreende-se que uma residência independente é menos eficiente em termos energéticos do que um edifício de vários pisos, ou seja, quanto mais um edifício for compacto menos permeável se torna e quanto mais baixo for menos exposto ao vento se encontra. No entanto, enquanto no Verão este factor é uma vantagem porque permite um aumento da ventilação e da diminuição da temperatura interna da habitação, já no Inverno o efeito é contrário, pois a diminuição de temperatura interna é o que se deseja evitar.

3.1.2. Áreas passivas e a organização do espaço habitacional

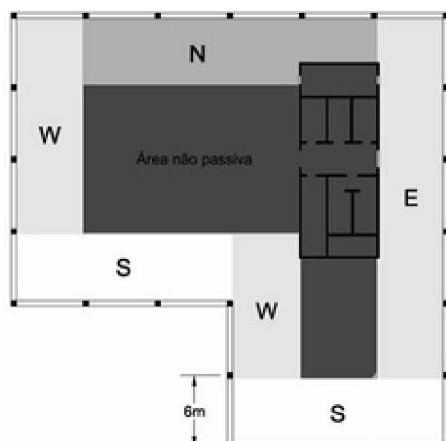


Figura 3.3 - Definição de área passiva de um edifício [47]

De acordo com os princípios do projecto bioclimático de edifícios, a configuração dos espaços também influencia o comportamento da habitação. Definem-se como Áreas Passivas as áreas do edifício que têm o potencial de serem ventiladas e iluminadas naturalmente, considerando-se que, para tal acontecer, a área terá de ser igual a duas vezes à altura do pé-direito do edifício.

A quantidade de área passiva existente num edifício em relação à sua área total, dá um indicador do potencial que o edifício tem para a prática destas estratégias, sendo ser do maior interesse a maximização das áreas passivas de uma habitação. Caso a área activa atinja proporções inconvenientes, aconselha-se a incorporação de saguões ou átrios, se possível [47].

A organização espacial do interior do edifício é outro factor a ter em conta. As divisões do interior de uma habitação devem ser projectadas tendo em conta que os quartos, a sala de estar e a sala de jantar deveram ser colocados a Sul, deixando as zonas de acesso, cozinha, casas de banho e zonas técnicas para a zona Norte. Uma fachada orientada a Norte não recebe radiação directa durante o Inverno e durante o Verão recebe apenas radiação directa no princípio da manhã e fim de tarde, tornando esta orientação a menos problemática em relação aos ganhos energéticos por radiação solar, mas no entanto sendo a que tem menos ganhos energéticos por radiação solar, torna-se a fachada mais fria [14].

3.1.3. Revestimento reflexivo da envolvente

Uma forma eficaz de evitar a absorção da radiação é o recurso a materiais de acabamento exterior com cor clara. As cores claras reflectem uma grande percentagem da radiação solar que incide sobre o edifício, pelo que os revestimentos de cor clara contribuem para reduzir a temperatura da envolvente do edifício e evitar a condução de calor para o interior da habitação. Este factor deve ser considerado tanto para as paredes como também, sempre que possível, para as coberturas. Desta forma, a cor que mais reflecte a radiação solar é o branco.

O uso de cores claras tem também vantagens quando aplicado em paredes interiores pois esta dá uma sensação de maior claridade aos espaços, reduzindo a necessidade de luz artificial [47].

3.1.4. Isolamento térmico

O isolamento térmico previne a transferência de calor por condução entre o interior e exterior do edifício. Desta forma é essencial existir num edifício elementos isolantes térmicos, como a lã mineral (MW), o poliestireno expandido moldado (EPS), o poliestireno expandido extrudido (XPS) e o aglomerado negro de cortiça expandida (ICB), em toda a envolvente opaca exterior do edifício, constituindo uma das medidas mais simples e eficazes de redução das perdas e ganhos energéticos, que irá contribuir na redução das necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios [47].

Este pode ser colocado pelo exterior, entre camadas da envolvente e interiormente. Para potenciar um melhor desempenho deste e por forma a contribuir para uma maior inércia térmica

do edifício, o isolamento térmico deverá ser colocado pelo exterior, evitando a condução de calor para o interior.

A quando do dimensionamento da espessura do isolamento térmico, há que ter cuidado com a zona climática em que o edifício se insere, pois um mau dimensionamento deste pode levar ao aumento das necessidades de aquecimento e/ou arrefecimento.

3.1.5. Inércia térmica

Entende-se por inércia térmica a resistência oferecida pelos sistemas térmicos à tentativa de alteração do seu estado termodinâmico. Tendo em conta o carácter periódico das solicitações aos edifícios, esta resistência irá traduzir-se num amortecimento das ondas de calor e desfasamento entre as solicitações e a resposta dada pelo edifício. A inércia térmica tem, assim, origem na capacidade que os materiais possuem em armazenar calor.

Quando se escolhe um dado material para desempenhar a função de “acumulador de calor”, deverá ser tido em conta a capacidade que esse material possui em armazenar calor. A esta capacidade chama-se capacidade térmica ou massa térmica.

Por este facto, as paredes exteriores e interiores, bem como as lajes de uma habitação, deverão ser concebidas como elementos de massa térmica, contribuindo também para uma melhor gestão dos recursos energéticos com vista ao conforto interno da habitação. A massa térmica poderá igualmente funcionar como isolamento acústico e servir para aumentar a resistência mecânica da envolvente da habitação, pelo que será preferível a sua integração nos elementos de fachada em vez de nas divisórias interiores entre compartimentos. As divisórias interiores dentro de cada habitação, poderão até ser leves, nos casos em que o isolamento acústico não é tão necessário, contribuindo assim para uma construção mais sustentável [52].

Desta forma, quanto maior for esta capacidade de armazenamento, melhor os sistemas técnicos absorvem as solicitações sem alteração radical do seu estado termodinâmico. Um edifício com grande inércia térmica tem tendência em armazenar a energia recolhida por períodos mais longos e a armazenar os efeitos das variações climáticas.

A adopção de um elevado nível de inércia num edifício pode contribuir para:

- Armazenar os ganhos solares de inverno e restituí-los ao interior do edifício quando estes forem necessários;
- Prevenção contra fenómenos de sobreaquecimento característicos das estações intermédias. Estes devem-se a um aumento acentuado da temperatura exterior durante o dia e aos fortes ganhos solares devidos, sobretudo, à incidência de radiação solar directa sobre os envidraçados;

- Em países de clima ameno, caso de Portugal, a utilização de materiais de elevada inércia térmica, com ou sem isolamento exterior, oferece, também, uma protecção eficaz contra os picos diurnos de temperatura verificados no Verão.

A inércia térmica pode também ter um papel desfavorável nos edifícios cuja ocupação seja feita essencialmente no período diurno ou cujos ganhos solares de inverno sejam pouco significativos. Neste caso, um nível elevado de inércia pode traduzir-se num demorado restabelecimento das condições de conforto pelas soluções de climatização, aumentando, assim, o consumo de energia quando este é feito de forma mecânica.

A inércia térmica é, pois, uma variável extremamente importante, a ter em conta, no que diz respeito ao desempenho térmico de um edifício. Por isso, a capacidade de armazenamento térmico deverá ser projectada, para cada caso, em função da geometria, do clima e do regime de ocupação [53].

3.1.6. Vãos envidraçados

Os vãos envidraçados representam uma significativa percentagem da envolvente exterior de um edifício. Estes separam o ambiente exterior do interior da habitação, que geralmente estão a diferentes temperaturas, o que combinado com a sua fraca resistência térmica, levará à ocorrência trocas de calor indesejadas entre o interior e o exterior do edifício, podendo dar origem a um consumo excessivo de energia para controlar a temperatura interna, por forma a colmatar o aquecimento e arrefecimento no interior, por estes causados [14].

É assim de extrema importância que sejam dimensionados e aplicados da forma mais eficiente, contribuindo assim na optimização do desempenho energético e ambiental dos edifícios, devendo ter as fachadas Este e Oeste, em relação à fachada Sul, uma menor área de envidraçados por ficarem sujeitas a radiação intensa durante o Verão. Esta medida conjugada em função da orientação solar das fachadas do edifício contribui para um melhor conforto térmico do espaço habitacional interior [50].

Tendo em conta que a cozinha e as casas de banho são espaços onde são utilizadas águas quentes, que com a sua evaporação aumentam a temperatura e a humidade no seu interior, recomenda-se a utilização de caixilharias oscilo-batentes ou de correr, permitindo uma desumidificação e ventilação mais acelerada, evitando-se constrangimentos de bloqueios perto das áreas dos envidraçados.

Tendo em conta os vários elementos que compõem a envolvente exterior de um edifício, os envidraçados são os elementos da envolvente que maior coeficiente transmissão térmica apresentam, sendo responsáveis pela maioria das perdas de calor no Inverno e ganhos de calor no Verão. Numa situação em que se quer evitar ao máximo os ganhos térmicos pelos vãos envidraçados, estes não devem ocupar uma área superior a 30% da área das fachadas Norte e

Sul, contanto já com um correcto sombreamento, descendo este valor para 20% no caso das fachadas Nascente e Poente [14,47].

Recorrer a envidraçado horizontal deve ser uma medida a evitar, pois tendem a causar problemas de sobreaquecimento. No entanto, quando é necessário recorrer a esta opção por questões de iluminação, elas devem ser cuidadosamente dimensionadas e incorporar sistemas de sombreamento.

Actualmente existem no mercado vários tipos de envidraçados que conseguem desempenhar um bom comportamento em termos energéticos, possibilitando a diminuição dos impactos que estes vão causar no comportamento térmico dum edifício.

Em Portugal, a opção por janelas com vidro duplo tem vindo a ser mais generalizada pois estes conferem um melhor comportamento térmico à área de envidraçado. Comparativamente aos vidros simples, os vidros duplos reduzem em cerca de 30% a 40% as trocas de calor.

Um dos grandes desafios aplicados aos envidraçados é a contribuição do vidro na redução da captação de energia solar. Hoje em dia existem vidros com diferentes características, como por exemplo os vidros de baixa emissividade, que baixam consideravelmente os ganhos de calor. Estes vidros podem ser quase opacos à radiação infravermelha, reduzindo a transmissão de energia solar em mais de 50%, sem afectar os níveis de iluminação natural [47].

Os parâmetros a ter em conta na escolha de um envidraçado recaem no tipo de caixilharias, se têm ou não corte térmico, no tipo e número de lâminas de vidro, como também na escolha do gás a colocar no espaço entre vidros, sendo aconselhado um ar mais pesado, geralmente Árgon que tem uma condutibilidade térmica mais baixa e inclusão de capas de baixa emissividade.

Para Portugal, o desejável é adopção de um envidraçado que apresentem melhor desempenho como vidro duplo de baixa emissividade, composto por dois panos de vidro, um deles revestido por uma capa de baixa emissividade e com Árgon no espaço de ar selado, reduzindo-se, desta forma, a probabilidade de sobreaquecimento do interior no Verão e de arrefecimento no Inverno, não pondo em causa a iluminação natural do interior da habitação.

Tanto o vidro duplo como o vidro triplo são também utilizados quando se pretende melhorar substancialmente o isolamento sonoro da habitação para sons de condução aérea [54].

As caixilharias são o restante parâmetro que se deve ter em atenção a quando da escolha do envidraçado. O melhor material para uma caixilharia é o PVC e logo em seguida a madeira e por último o alumínio com ou sem corte térmico, tanto do ponto de vista do seu coeficiente de transmissão térmica, como pode ser constatado através da análise do ITE 50 [54], como do ponto de vista ambiental e económico, como pode constatar através da “Análise do ciclo de vida das caixilharias: um estudo comparativo” executado pela Caixiave em colaboração com o Instituto Superior Técnico [55]. O referido estudo conclui que do ponto de vista ambiental, a caixilharia de PVC é a que apresenta melhores consumos energéticos e menor quantidade de

CO₂ ao longo de todo o ciclo de vida útil e do ponto de vista económico, os sistemas de caixilharia de PVC apresentam o menor custo global, apresentando-se como a escolha mais adequada quando comparados com outros sistemas de caixilharia alternativos, funcionalmente equivalentes [55].

Importa frisar que cerca de 15% da energia que se utiliza no aquecimento e arrefecimento de uma casa perde-se através de frinchas presentes em caixilharias [8].

3.1.7. Sistemas de sombreamento

De modo a controlar a incidência da radiação solar, deverão ser adoptados sistemas de sombreamento que funcionam como protecção interior ou exterior dos envidraçados, por forma a evitar ganhos térmicos excessivos no interior da habitação.

Estes sistemas podem ser fixos, através de palas colocadas no exterior do edifício, ou amovíveis, através de estores, portadas ou toldos colocados no exterior, ou através de cortinas instaladas no interior. Para a obtenção de melhores resultados é desejável a adopção de dispositivos de sombreamento pelo exterior, visto serem 70% mais eficientes do que as protecções solares interiores [50].

A função deste dispositivo é impedir a radiação solar durante o período veraniano de incidir no interior da habitação, evitando assim os ganhos térmicos desnecessários sem por em causa a iluminação natural do interior, permitindo que durante o Inverno, a radiação solar possa incidir no interior, obtendo-se ganhos térmicos desejáveis no interior na habitação. Esta medida permite mais uma redução dos gastos energéticos habitacionais com o aquecimento do espaço interior [14].

O dimensionamento dos dispositivos de sombreamento fixos pelo exterior obedece a regras que podem ser consultadas no RCCTE [9].

No entanto, pode ser utilizada vegetação para como estratégia de sombreamento dos vãos envidraçados. Um tipo de vegetação que se pode utilizar para esta finalidade é a árvore de folha caduca. Este tipo de árvores são excelentes para este efeito, pois durante o Verão a sua copa cheia de folhagem permite o sombreamento das janelas e durante o Inverno, os seus ramos despidos de folhagem permitem que a iluminação natural chegue ao interior dos edifícios [56].

3.1.8. Envolvente opaca

Entende-se por envolvente opaca de um edifício as paredes, coberturas e pavimentos que constituem a sua estrutura. A forma como a envolvente opaca for dimensionada irá influenciar directamente a inércia térmica do edifício, já abordada anteriormente no subcapítulo 3.1.5 *Inércia térmica*.

A envolvente opaca está sujeita a fenómenos de transmissão de calor por condução, convecção e radiação, mas é a condução o fenómeno que maior preocupação levanta. A transmissão de calor por condução através da envolvente opaca dos edifícios, quer sejam as perdas de calor no Inverno, quer os ganhos indesejáveis no Verão, são fenómenos que influenciam fortemente o comportamento térmico dos edifícios e o seu conforto interior [14].

Será pela envolvente exterior do edifício que serão esperados os maiores ganhos e perdas energéticas, o que torna evidente que os materiais que a constituem terão de desempenhar um bom comportamento para evitar ganhos e perdas indesejáveis. A envolvente terá de ter em conta a resistência térmica dos materiais que a compõem, escolhendo materiais com maior resistência térmica, conjugados com os aspectos da inércia térmica e isolamento já anteriormente referidos.

Paredes exteriores

Tendo em conta todos os aspectos construtivos já descrito anteriormente, por forma a otimizar o desempenho desta e consequentemente o desempenho do edifício, será o sistema ETICS, que é um sistema de fachada com isolamento térmico pelo exterior, que oferece melhores garantias de desempenho energético de uma parede exterior, no que se refere a paredes de preenchimento.

O Sistema ETICS (External Thermal Insulation Composite System) é uma solução geralmente constituída por um pano simples de alvenaria, isolamento térmico em placa podendo ser em XPS ou EPS, entre outros, podendo ser colado e/ou fixo mecanicamente ao pano de alvenaria, sendo revestido com um revestimento delgado, aplicado em várias camadas muito delgadas, armado com rede de fibra de vidro (Figura 3.4). Como acabamento é geralmente utilizado um revestimento sintético espesso de carácter decorativo e com estanquidade à água, proporcionando a resistência necessária às solicitações mecânicas e climáticas [57].

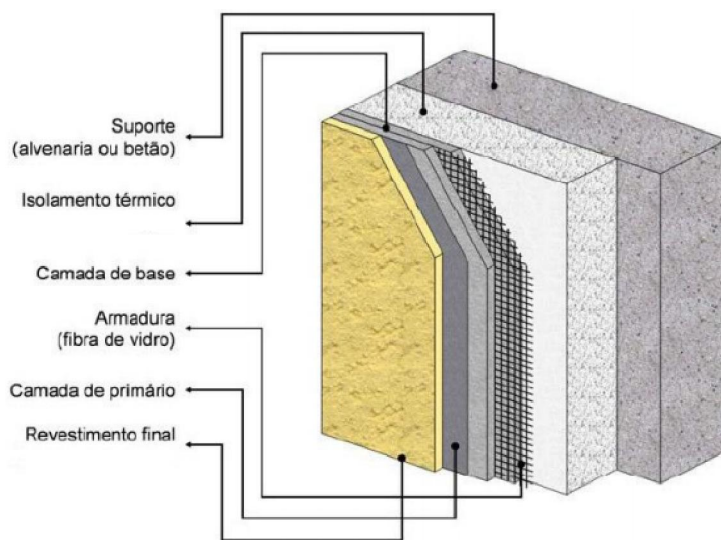


Figura 3.4 - Constituição do sistema ETICS (adaptado de [57])

As vantagens deste sistema de isolamento resumem-se a:

- Redução das pontes térmicas, permitindo um revestimento térmico sem interrupções nas zonas estruturais e obtendo-se um coeficiente de transmissão térmica nestas próximo do da zona corrente da envolvente (Figura 3.5);

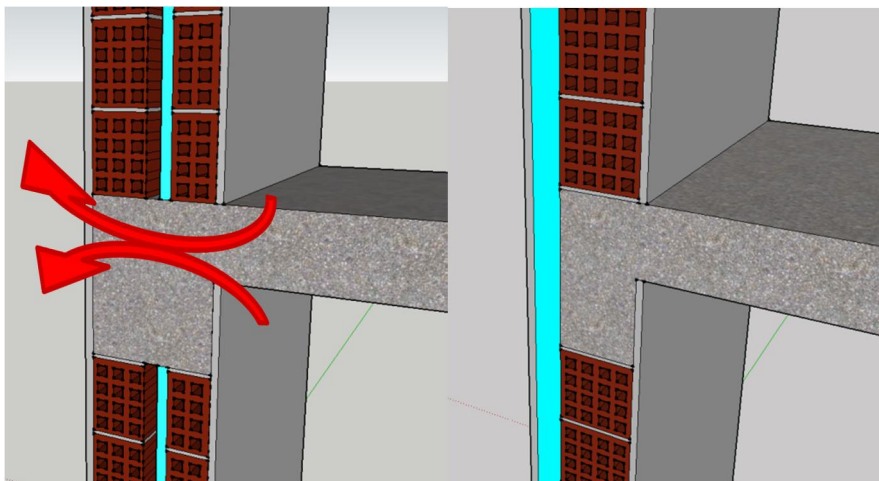


Figura 3.5 - Continuidade do isolamento térmico permite reduzir as pontes térmicas

- Redução do risco de condensações no interior das paredes envolventes ou à superfície, visto que a temperatura da superfície interior das paredes é mais elevada, mesmo nas superfícies em contacto com vigas ou pilares, afastando-se da temperatura de orvalho, temperatura a partir do qual o vapor de água presente no ar passa para o estado líquido;
- Redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura;
- Dispensa de paredes duplas, permitindo a diminuição da espessura das paredes exteriores e o consequente aumento da área habitável;
- Potencia a inércia térmica interior dos edifícios, estando a maior parte da massa das paredes protegida das variações de temperatura no interior da camada de isolamento térmico;
- Diminuição do gradiente de temperatura a que se apresentam sujeitas as camadas interiores das paredes. O choque térmico, como também as temperaturas mais severas ocorrem no isolamento, estando a temperatura da parede sempre próximas da temperatura interior;
- Inexistência de fissurações pois acompanham os movimentos do edifício, se executada correctamente;
- Possibilidade de alteração do aspecto das fachadas e colocação em obra sem perturbar os residentes do edifício, sendo as intervenções realizadas pelo exterior do edifício;
- Economia a longo prazo devido a custos de manutenção reduzidos;

- Número variado de soluções de acabamento [57].

Em termos de desvantagens deste sistema podem ser apontados três pontos desfavoráveis:

- Necessidade de mão-de-obra especializada;
- Aplicação dificultada quando há aberturas e pormenores complicados;
- Reacção ao fogo elevada, dependendo do isolante térmico [57].

Com o intuito de melhorar o conforto térmico e diminuir as necessidades de aquecimento e arrefecimento dos edifícios, será o sistema ETICS que se apresenta como o melhor sistema para as paredes exteriores dos edifícios.

Cobertura

A par das paredes exteriores, são pelas coberturas que ocorrem grande parte das perdas e ganhos energéticos de um edifício. O isolamento térmico de uma cobertura é considerado uma intervenção de eficiência energética prioritária, face aos benefícios imediatos em relação à diminuição das necessidades energéticas, e por se tratar de uma das melhorias mais simples e menos dispendiosas.

As coberturas podem ser horizontais ou inclinadas. No caso de uma cobertura horizontal, a aplicação do isolamento térmico pelo exterior deve ser realizada com a solução cobertura invertida, ou seja, isolamento térmico em forma de placas, aplicado sobre a impermeabilização da laje de betão e protegido superiormente pela aplicação de uma protecção pesada. Esta solução deve ser usada em detrimento da solução em que o isolante térmico desempenha a função de suporte de impermeabilização, pois permite aumentar a vida útil da impermeabilização ao protege-la de amplitudes térmicas significativas.

Em coberturas inclinadas consideram-se dois procedimentos para a colocação do isolamento térmico, caso o desvão seja ou não habitável). Caso o desvão seja habitável, o isolamento deve ser feito pelo exterior e, sempre que possível, ser colocado sobre o telhado e sobre a impermeabilização da laje. Se o telhado não tiver laje, o isolamento térmico deve ser aplicado sobre a estrutura de fixação das telhas, podendo ser revestido pelo interior com outro material. Caso o desvão não seja habitável, o isolamento térmico será aplicado sobre o pavimento do desvão, sendo este processo conhecido como isolamento da esteira horizontal. Este processo é mais económico comparativamente com o isolamento das vertentes, pois a quantidade de isolamento térmico utilizado é menor e a sua aplicação encontra-se geralmente mais facilitada [58].

Para além destes dois tipos de cobertura mais tradicional, podemos também recorrer a uma solução de cobertura ajardinada, como já foi visto nos casos de estudo BedZED e RuralZED, que funcionam principalmente como barreira de protecção à radiação solar.

Pavimento

O pavimento em contacto directo com o exterior ou com espaços interiores não aquecidos é um local propício a perdas de calor devido ao diferencial de temperatura que pode ocorrer no Inverno e a humidade proveniente do solo. Desta forma é necessário isolar termicamente o pavimento com isolamento térmico, tendo em conta a sua adequabilidade e situação a que se propõe.

A espessura de isolamento térmico a aplicar no pavimento em contacto com o exterior será de acordo com a espessura adoptada para a envolvente exterior, ou seja, terão ambos os elementos a mesma espessura para o mesmo isolamento térmico. Da solução construtiva de pavimento considerada adequada fazem parte a camada de enrocamento, o massame armado, a betonilha de regularização, o isolamento térmico e um revestimento superior que irá depender da utilização da zona interior do edifício. Como isolamento térmico recomenda-se o XPS, como revestimento superior o ladrilho cerâmico para as zonas de serviços como as casas-de-banho e cozinhas e pavimento em madeira para os quartos e salas da habitação [57].

Varandas com envidraçado amovível



Figura 3.6 - Sistema harmónico de janelas [59]

Tendo em conta os casos do BedZED e do RuralZED, a adopção de varandas na fachada virada a Sul é uma medida que promove o aquecimento do interior, sem necessidade de recorrer a equipamentos de climatização.

Tendo em conta o funcionamento de uma estufa, a adopção destas varandas funcionará de forma semelhante, tendo a vantagem de poder rebater o envidraçado para quando não existirem necessidades de aquecimento interior. Este sistema é constituído por um sistema harmónico de janelas em caixilharia de PVC, com vidro duplo, fixo sobre guias que correm na calha metálica, permitindo que através do seu sistema harmónico possa fechar e abrir quando o utilizador desejar, como se pode observar na Figura 3.6.

O seu funcionamento será muito simples, quando a estação de Inverno se aproxima, acompanhada com as primeiras chuvas, o utilizador terá de fechar o compartimento onde estes envidraçados estiverem colocados, por forma a criar um espaço fechado, funcionando como estufa como também de primeira barreira às agressões climáticas. Desta forma estará a possibilitar o uso de uma zona que durante o Inverno não seria utilizada.

Com o aproximar do Verão, este envidraçado deverá ser aberto, para evitar o sobreaquecimento do interior da habitação, evitando-se ganhos energéticos prejudiciais ao conforto interno.

Esta é assim uma forma equilibrada de aquecimento passivo, sem grande impacto arquitectónico, de fácil utilização e que permite aproveitar a radiação solar como estratégia de aquecimento passivo, obtendo ganhos térmicos sem custo energético.

3.1.9. Ventilação Natural

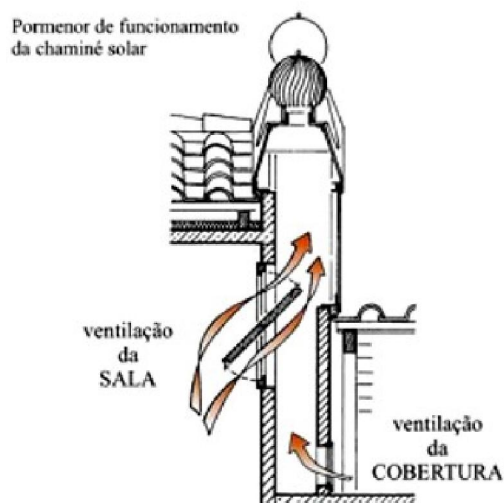


Figura 3.7 - Pormenor de funcionamento da chaminé solar [60]

A ventilação natural e consequente circulação do ar no interior das habitações, contribui para a qualidade do ar interior, mas também para a diminuição da temperatura interior, remoção do calor armazenado pela inércia térmica do edifício, incentivando as perdas de calor por convecção e remove a evapotranspiração dos ocupantes do interior do edifício.

Tendo em conta as condições climáticas

de Portugal que favorecem a utilização deste recurso renovável, contribuindo para a renovação do ar interior a uma taxa adequada e melhorar, desta forma, a qualidade do ar interior sem ser necessário o recurso a mecanismos que impliquem gastos energéticos para melhoria da qualidade do ar interior, ou seja, a ventilação natural procura otimizar o conforto interior do edifício, utilizando o vento para promover a renovação do ar interior, sem recorrer a nenhum sistema eléctrico e assim não gastar energia para o efeito.

A ventilação natural dos espaços ocorre através da diferença de pressão gerada por acção do vento nas fachadas dos edifícios e por alteração da densidade do ar por acção da temperatura, resultado do aquecimento decorrente das actividades desenvolvidas, do funcionamento dos aparelhos de aquecimento e dos ganhos solares dos vãos envidraçados [14].

A forma mais usual de aumentar a ventilação da divisão de um edifício é o simples gesto de abrir uma janela desse local para permitir a entrada de ar fresco. Este simples gesto pode permitir a entrada de partículas de pó em suspensão, bem como a anulação da capacidade de isolamento ao ruído exterior e de isolamento térmico da habitação, pondo em causa a temperatura interna do espaço [47, 52]. Tendo em vista a optimização da ventilação natural do edifício, este deverá apresentar a superfície de maior fachada orientada aos ventos dominantes

da estação de Verão. Uma forma desta medida ser implementada é a realização de edifícios de maior altura e com pouca profundidade, de forma que se aproveitem as velocidades maiores que se produzem a maior altura do solo. A disposição e dimensionamento das aberturas são aspectos determinantes para se atingir uma boa ventilação. A área das aberturas deverá ser maior na fachada orientada ao vento dominante de Verão e menor na fachada oposta.

A circulação do ar pelo interior pode otimizar-se através da instalação nas portas e janelas exteriores, de grelhas que permitam a passagem do ar, com sistemas de regulação de caudal. A entrada de ar através das janelas incrementa-se criando uma zona de sobrepressão em frente destas, através do bloqueio do ar incidente com a utilização de palas, varandas ou outros obstáculos arquitectónicos, ou pela colocação de árvores que impeçam o fluxo de ar de se dispersar pelos lados do edifício [52].

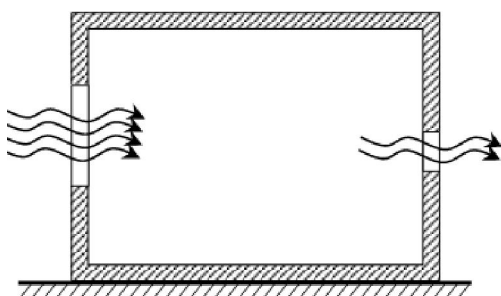


Figura 3.8 - Sistema de ventilação cruzada [52]

Esta ventilação pode ser conseguida não só pelo estudo da compartimentação e da localização de aberturas nas fachadas, como também pela implementação de chaminés solares (Figura 3.7), do sistema de ventilação cruzada (Figura 3.8), do sistema de ventilação induzida (por estratificação), de aspiradores estáticos, de câmara solar ou chaminé solar, de

aspirador estático e de torres de vento.

O sistema de ventilação aconselhado é a ventilação através de chaminés solares (Figura 3.7) através de aberturas nas fachadas para permitir a admissão de ar novo e de aberturas na parede, que através de tubagem, têm ligação à chaminé solar que efectua a exaustão do ar, sem necessitar de ter em conta a direcção dominante do vento na orientação da habitação. No entanto será sempre possível ventilar a casa de forma cruzada através da abertura de janelas.

O sistema de ventilação cruzada favorece o movimento de ar de um espaço, ou de uma sucessão de espaços associados, mediante de colocação de aberturas em fachadas opostas, como se pode verificar na Figura 3.8. As aberturas devem situar-se em fachadas que estejam em comunicação com espaços exteriores, que possuam condições de radiação ou de exposição ao vento, com características muito diferentes. Os valores típicos gerados por ventilação cruzada situam-se na ordem das 8 a 20 renovações de ar por hora, em presença de um vento fraco no exterior.

Visto este sistema ser aconselhável em climas secos e em climas temperados, para arrefecimento nocturno durante o Verão e tendo em conta este se enquadra ao clima português, esta estratégia deve ser considerada como metodologia para estratégia de ventilação natural [52].

3.1.10. Estratégias de aquecimento passivo

Um edifício inserido em Portugal e condicionado ao clima português, tem necessidades de aquecimento durante a estação mais fria do ano, a estação de Inverno. Sendo as perdas de calor de uma habitação algo impossível de anular, um edifício durante esta estação terá necessidades de aquecimento que terão de ser colmatadas. Através de estratégias de aquecimento passivo, o edifício poderá ver essas necessidades de aquecimento compensadas sem o recurso a sistemas de climatização que necessitam de energia para o seu funcionamento, tais como aquecedores eléctricos, radiadores eléctricos, bomba de calor, entre outros, equipamentos que iriam aumentar as necessidades energéticas de um edifício.

A forma mais simples de aquecer naturalmente um edifício, sem recorrer a quaisquer equipamentos utilizadores de energia, é através dos ganhos solares.

Os ganhos solares podem ser de dois tipos: directos ou indirectos. A energia solar, recebida por qualquer superfície, pode chegar ao edifício de três modos distintos: por radiação directa, a forma de radiação mais intensa; por radiação difusa, sendo no fundo a radiação que foi difundida em todas as direcções pelas moléculas de ar e por partículas que compõem a atmosfera; ou ainda por radiação reflectida por outras superfícies. Num dia de céu limpo, a percentagem de radiação que chega ao solo é cerca de 50% da radiação emitida pelo Sol, sendo baixa percentagem de radiação difusa. No entanto, num dia com nuvens, a radiação difusa pode variar entre 10% a 100% da radiação que chega ao solo.

Para um edifício utilizar os ganhos solares como estratégia de aquecimento passivo deverá de apresentar uma área de captação a Sul (quando um edifício se encontre no hemisfério Norte) e com os espaços a aquecer directamente expostos à radiação solar, em que os elementos interiores (paredes, laje de tecto e piso) funcionaram como elementos de armazenagem de calor. A redistribuição do calor armazenado realiza-se por radiação e convecção natural. As perdas de calor para o exterior serão reduzidas através da utilização de vidros duplos, com Árgon entre os panos de vidro e com filtro solar de baixa emissividade, tendo o cuidado de durante a noite ou em dias encobertos, estes serem encobertos com sistemas de oclusão com boa capacidade de isolamento térmico [47].

3.2. Soluções activas

Entendem-se por soluções activas, todas as soluções mecânicas que fomentem a diminuição directa dos gastos energéticos de um edifício através da eficiência energética, como também, apontem para a criação de energia através de fontes renováveis sem por em causa o bom e correcto desempenho de um edifício e do seu conforto interno.

3.2.1. Colectores solares térmicos

Portugal é um dos países europeus que apresenta condições mais favoráveis para a utilização em larga escala de energias renováveis. Influenciado por um clima mediterrânico, este apresenta um elevado número de horas de exposição solar anual, que varia entre 2200 e as 3000 horas, o que comparado com os países da europa central, que apresentam uma incidência solar de 1200 a 1700 horas, denota a sua mais-valia energética. De entre muitas alternativas de produção energética que se apresentam a Portugal, a energia solar, convertida tando em energia fotovoltaica como em energia térmica, é tida como a alternativa mais viável para exploração energética [61].

Numa tentativa de incentivar a utilização e de aproveitamento das fontes de energia renovável e através das directivas europeias, o RCCTE impõe a colocação e utilização de colectores solares para aquecimento das águas quentes sanitárias, AQS, que se torna numa medida muito interessantes, mesmo do ponto de vista económico.

Do ponto de vista técnico, as soluções de água quente sanitária caracterizam-se por:

- Sistema de circulação passiva por termossifão - composto por um depósito que fica integrado no topo dos painéis solar. Pelo facto da água quente subir, não são necessários sistemas de circulação da água (Figura 3.9);

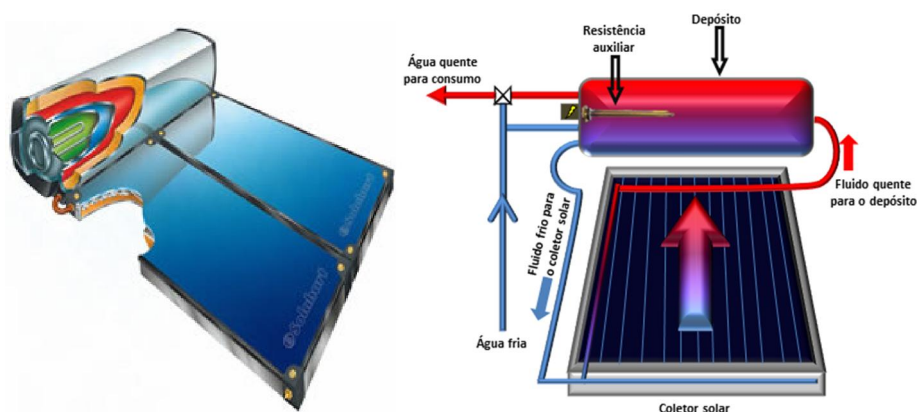


Figura 3.9 - Coletor solar térmico com sistema de circulação passiva por termossifão [62]

- Sistema de circulação forçada - o depósito fica separado dos painéis solares, normalmente no interior do edifício, existindo um sistema forçado de circulação da água (Figura 3.10).



Figura 3.10 - Coletor solar térmico com sistema de circulação forçada [62]

No sistema de circulação passiva a circulação de água faz-se por efeito de termossifão, fenómeno que se baseia na diferença de densidade entre a água fria e a água aquecida pela radiação solar. Para que isto aconteça, é necessário que os painéis tenham uma determinada inclinação mínima e que o depósito seja instalado numa cota superior. Este funciona com a pressão de água da rede e não necessitam de espaço no interior da habitação para o acumulador. Nos dias de menor insolação é usado um equipamento de suporte energético, usualmente uma resistência eléctrica no interior do depósito.

Os sistemas de termossifão são indicados para o aquecimento de pequenos volumes de água, por serem mais económicos e fiáveis. Possuem menos componentes que os sistemas de circulação forçada, tais como a bomba circuladora e o controlador.

No sistema de circulação forçada, o acumulador é instalado no interior da habitação (ou noutro local protegido) e os painéis são colocados no exterior orientados a Sul. A ausência do depósito no telhado tem vantagens estéticas e energéticas pois reduz as perdas térmicas por contacto com o ar frio.

Entre estes painéis e a serpentina do depósito circula, em circuito fechado, um líquido solar por forma a aquecer a água de consumo, por acção de uma bomba circuladora. A velocidade desta bomba é regulada por um controlador solar consoante a leitura das temperaturas da água do depósito e dos painéis.

Ao contrário do que acontece no sistema de termossifão, o acumulador é colocado verticalmente, o que permite uma melhor estratificação dos níveis de temperatura da água e, consequentemente, um melhor aproveitamento do volume total de água quente.

O apoio energético pode ser executado por um outro equipamento de aquecimento de água, recuperador de calor, caldeira ou esquentador, que será ligado a serpentina superior do depósito, ou então por uma resistência eléctrica [63].

A Nota técnica NT-SCE-01, disponibiliza no Quadro VIII, do Anexo VII, valores de referência da contribuição de sistemas de colectores solares, $E_{\text{solar}}^{\text{ref}}$ em kWh/ano, para Portugal,

para sistemas com termossifão e para sistemas de circulação forçada, bem como a formula de calculo do valor da contribuição de sistemas de colectores solares, E_{solar} [64].

No entanto, não faz parte da presente dissertação de mestrado o dimensionamento destes colectores solares, interessando apenas a medida a implementar.

Em comparação com os dois sistemas, privilegia-se a adopção de um sistema de colector solar térmico com termossifão, pois apresenta um valor da contribuição de sistemas de colectores solares, E_{solar} , superior ao sistema de circulação forçada.

Os parâmetros a ter em conta, perante as exigências das normativas em vigor, serão a instalação de 1m^2 de área de colector por habitante previsto, podendo este valor ser reduzido desde que não ultrapasse 50% da área de cobertura total disponível, e um depósito de 50 a 70 litros por pessoa, tendo em conta a rentabilidade do sistema e o seu tempo de amortização [9].

A escolha do colector solar terá de ter em conta a pretensão de utilização do colector solar só para AQS ou se também será pretendido o aquecimento do meio interior por esta via.

Tendo em vista que durante a estação de arrefecimento, poderá existir a necessidade de adopção de mecanismos que venham colmatar as perdas de calor interno de um edifício, a escolha do sistema recairá no de circulação forçada, com sistema de apoio de uma resistência eléctrica (Figura 3.11), estando satisfeitas tanto as necessidades de AQS e de aquecimento do espaço interior por via de fontes renováveis.

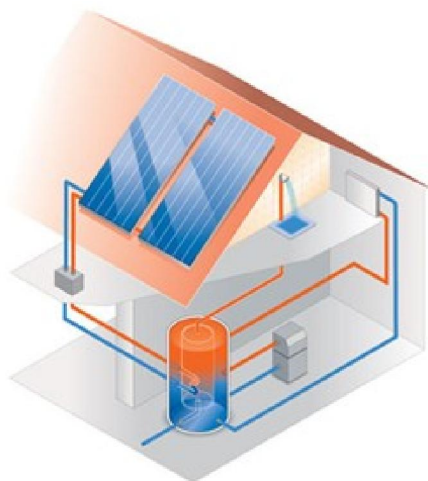


Figura 3.11 - Esquema de um sistema de circulação forçada com suporte de apoio energético [62]

Tendo em conta a optimização da eficiência dos colectores solares, devem ser respeitadas as seguintes indicações:

- Os colectores devem ficar orientados a Sul ou, na impossibilidade desta orientação, deveram ser rodados a 45 graus, no máximo, para Este ou Oeste;
- O ângulo dos colectores relativamente à linha horizontal deve ser o correspondente à latitude do local: também são aceitáveis ângulos mais baixos para objectivos arquitectónicos específicos e para colectores usados apenas no

Verão. Em caso de maior utilização durante o Inverno, nomeadamente para fins de aquecimento, recomenda-se um ângulo mais elevado;

- As tubagens devem ser isoladas de forma adequada para reduzir as perdas de calor desde o colectador até ao ponto de utilização [58].

As vantagens de um sistema solar térmico resumem-se a:

- Poupança de 70% dos custos em energia necessários para a produção de água quente para uso doméstico [58];
- Independência dos combustíveis fósseis;
- Redução em 30% das emissões de gases com efeito de estufa;
- Produção de água quente sem poluição e sem ruído;
- Possibilidade de integração com sistemas de aquecimento já existentes como recuperadores de calor, caldeiras e esquentadores;
- Incluem uma resistência eléctrica para que não falte água quente nos dias de menor insolação [63].

É de ser salientado, que na distribuição do consumo de energia nos alojamentos portugueses, 21,5% é para aquecimento do espaço interior e 23,5% é para o aquecimento de águas.

3.2.2. Electrodomésticos eficientes

Com base no estudo feito no Capítulo 2, verificou-se que a cozinha e os equipamentos eléctricos são os principais usuários da electricidade, representando na sua globalidade 73,4% do total do consumo de electricidade no alojamento.

Por forma a reduzir os gastos energéticos das habitações, recomenda-se que no acto de aquisição de quaisquer equipamentos eléctricos sejam escolhidos os que possuam o maior grau de eficiência, com dimensões adequadas às suas necessidades.

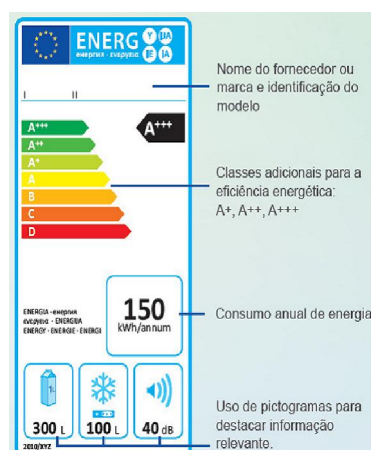


Figura 3.12 - Modelo da etiqueta energética em electrodomésticos
[14]

A eficiência energética dos equipamentos possuem uma etiqueta energética que a permite caracterizar, semelhante à apresentada em seguida.

Esta etiqueta energética (Figura 3.12) fornece ao consumidor informação sobre a classe de eficiência do equipamento, sobre a classe energética do equipamento, que pode variar de A+++ para os equipamentos mais eficientes e D para os menos eficientes, sobre o consumo anual de energia e de água, o nível de ruído que produz em funcionamento e a sua capacidade volumétrica.

Os electrodomésticos de classe energética A+++ são muito mais eficientes no uso da energia do que aqueles com outras classificações e contribuem para a optimização do desempenho energético-ambiental da habitação. Na generalidade, são também mais silenciosos, o que os torna mais fáceis de operar fora das horas de pico de consumo, durante o período nocturno, sempre que o ruído não seja perturbador, período em que a energia é vendida a um preço inferior.

Comparando os consumos de uma “Família standard” e uma “Família ecológica”, como mostra a Figura 3.13, a “Família ecológica” consome menos 1448 kWh de electricidade e menos de 3,4 m³ de água do que a “Família standard” e assim permite-se uma poupança de 49% em termos energéticos e 32% em consumo de água [14].

Equipamentos	Consumo anual de uma "Família Standard"		Consumo anual de uma "Família Ecológica"	
	Electricidade (kWh)	Água (m ³)	Electricidade (kWh)	Água (m ³)
Frigorífico	380	--	140	--
Congelador	625	--	225	--
Máquina de lavar louça	396	5,7	264	3,3
Máquina de lavar roupa	240	14	180	10
Forno eléctrico	306	--	250	--
Computador	200	--	95	--
Audiovisual	335	--	220	--
Iluminação	500	--	160	--
Total	2982	19,7	1534	13,3
Diferença entre as duas Situações			-1448	-6,4

Figura 3.13 - Comparação dos consumos de energia de uma "Família standard" e uma "Família ecológica" [14]

Pode-se assim comprovar que a preferência pelo uso de equipamentos eléctricos mais eficientes reduz significativamente os consumos energéticos e, por consequência, os consumos globais de uma habitação portuguesa.

Quanto aos equipamentos eléctricos que muitas vezes ficam em *stan-by* quando são desligados, na realidade continuam a consumir energia. O corte de corrente total destes equipamentos, quando não estão a ser utilizados, reduz o consumo energético total em 12 % [65]

3.2.3. Iluminação artificial

A iluminação artificial representa 13,6% do consumo de electricidade nas habitações portuguesas.

Por forma a reduzir o consumo de electricidade através dos elementos de iluminação artificial, recomenda-se a adopção de lâmpadas com maior eficiência energética, que são os casos das lâmpadas fluorescentes compactas.

As lâmpadas fluorescentes compactas apresentam um consumo inferior a 80% de uma lâmpada convencional incandescente e apresentam um tempo de vida útil de 10000 horas em vez de 1000 horas das lâmpadas incandescentes [58].

São ideais para espaços que necessitem de uma iluminação permanente interior ou exterior. No caso de espaços como a cozinha e escritórios, recomenda-se as lâmpadas fluorescentes, que possuem uma maior potência, confere uma iluminação mais homogênea e evitam reflexos.

Tendo em vista a optimização da iluminação artificial no interior de uma residência, existem orientações, tendo em conta a adopção de lâmpadas fluorescentes, quanto à característica da divisão da habitação que devem ser tidas em conta. Em ambientes de lazer onde não é necessária uma grande exigência iluminaria, são aconselhadas lâmpadas compactas de 7W, 9W e 11W. Em ambientes com necessidade de mais iluminação, como cozinhas, devem utilizar-se lâmpadas tubulares de 13W, 15W, 18W e 23W. Em zonas de passagem como corredores, podem utilizar-se lâmpadas compactas de 11W, tal como em casas de banho mas no caso das casas de banho podem utilizar-se também lâmpadas compactas de 15W. Nos quartos e nos candeeiros de mesas-de-cabeceira, são aconselháveis lâmpadas compactas de 15W e de 8W, respectivamente. Em espaços exteriores podem utilizar-se lâmpadas compactas de 15W [64].

3.2.4. Painéis fotovoltaicos

Por forma a minimizar os gastos energéticos de uma habitação, estando-se também a contribuir para a diminuição do impacto ambiental resultante do consumo energético, o recurso a sistemas de micro-geração de energia torna-se indispensável para alcançar o balanço energético quase nulo num edifício.

Portugal apresenta a melhor insolação anual de toda a Europa, à excepção do Chipre, com valores superiores em 70% aos verificados na Alemanha. Esta diferença leva a que o custo da electricidade produzida em condições idênticas seja 40% menor em Portugal, Figura 3.14. Uma das formas de retirar partido desta enorme vantagem é através da implementação de sistemas fotovoltaicos para geração de energia eléctrica [66].

Existem em vigor em Portugal o Programa “Renováveis na Hora”, que tem como principal objectivo promover a conversão do consumo de energia não renovável por energia renovável, facilitando o acesso a tecnologias de micro-geração energética. Este programa surge em linha de conta com a directiva europeia 2010/31/EU, que visa aumentar a utilização de energias renováveis em 20% até 2020, reduzir em 20% as emissões de gases com efeito de estufa e aumentar em 20% a eficiência energética no sector dos edifícios [11, 14].

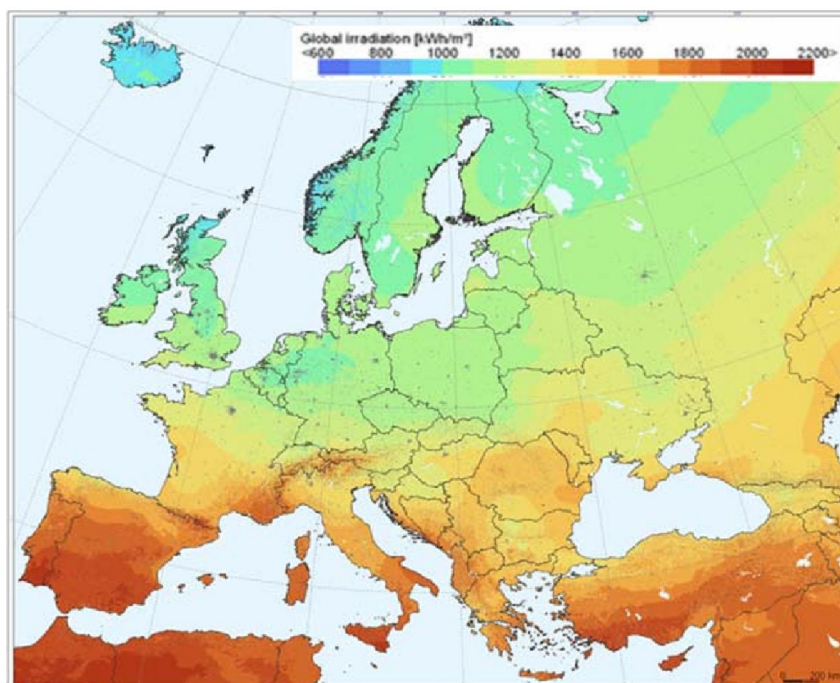


Figura 3.14 - Insolação global por metro quadrado na Europa [66]

O painel fotovoltaico é um equipamento capaz de converter a energia solar em electricidade. Este pode ser composto por quatro tipos principais de células solares [66]:

- Monocristalina;
- Policristalina;
- Amorfas.

A escolha do painel tem que ser feito consoante a relação custo-benefício, a sua durabilidade, capacidade de produção, eficiência, tempo de garantia, custo de operação e manutenção e tempo de retorno do investimento, características que diferem entre fabricantes.

Muito embora seja necessário a verificação e inspecção periódica do equipamento, garantindo o seu correcto funcionamento e longevidade (um sistema destes tem um tempo de vida entre 20 a 30 anos), as despesas de operação e manutenção são praticamente desprezáveis, tendo em conta o seu baixo valor [58].

Esta tecnologia apresenta grandes vantagens na sua utilização:

- Alta fiabilidade;
- Adaptabilidade dos módulos, o que permite uma montagem simples e adaptável a diversas necessidades energéticas, podendo os sistemas serem dimensionados para aplicações com potências variáveis;
- A energia gerada durante as horas de radiação pode ser armazenada em baterias para o seu aproveitamento durante as horas de inexistência de insolação;
- Custo reduzido de operabilidade;

- Vantagens ambientais sendo o seu produto final não poluente, silencioso e não prejudica o ambiente [58];
- Aumenta a autonomia dos consumidores individuais e das comunidades locais [14].

No entanto, este sistema apresenta também algumas desvantagens:

- O fabrico de módulos fotovoltaicos necessita de tecnologia de ponta, o que provoca um custo de investimento elevado;
- Rendimento real de conversão de um módulo é reduzido face ao custo do investimento;
- Os geradores fotovoltaicos raramente são competitivos, tendo em conta o ponto económico, face a outro tipo de geradores. A excepção limita-se a casos onde existam reduzidas necessidades de energia em locais isolados e/ou em locais onde a protecção ambiental é prioritária;
- O armazenamento em baterias da energia gerada agrava o custo de um sistema fotovoltaico [58].

Apesar do custo de sistemas fotovoltaicos ainda serem elevados, a tendência é de decréscimo acentuado, ao contrário das outras fontes energéticas. Tendo em conta a situação energética actual em Portugal, com escalada dos preços da energia, tenderá para diluir a relação custo/benefício deste sistema. Com o derrube das barreiras ao nível do mercado, ao nível da legislação e burocracia, do desenvolvimento deste sector e com a evolução e desenvolvimento desta tecnologia, espera-se que ocorra um aumento da procura destes sistemas e consequentemente um aumento da produção, o que iria diminuir ainda mais os custos destes sistemas [66].

Preferencialmente, recomenda-se a opção de painéis solares fotovoltaicos com células monocristalinas, por ter um maior rendimento em relação aos painéis com outras células.

A produção anual de energia fotovoltaica pode ser calculada pela expressão [67]:

$$\text{Produção anual de energia fotovoltaica} = PR \times Me \times Vst \times (A \times Gr \times 365)$$

Sendo PR o coeficiente de rendimento do sistema, Me a eficiência do módulo, Vst o valor da radiação solar em condições padrão de teste de irradiância, A a área de painéis fotovoltaicos da cobertura e GR a radiação solar global.

3.3. Conclusão

Com o objectivo de alcançar, num edifício, um balanço energético quase nulo terão de ser adoptadas soluções de carácter passivo que possibilitem o controlo dos fluxos naturais de energia que ocorrem num edifício através de um aumento da estanquidade da envolvente a estas tocas energéticas.

Com a conjugação de todas as demais medidas passivas já descritas, procurarão diminuir as necessidades internas de iluminação artificial durante as horas de exposição solar e as necessidades de aquecimento e arrefecimento do espaço interior de uma habitação, aumentando o conforto interno da mesma, que conjugadas com as medidas activas que propõem a aumentar a eficiência energética dos equipamentos eléctricos e da iluminação artificial, a anular as necessidades energéticas de combustíveis fósseis, privilegiando as energias renováveis para produção de AQS e aquecimento ambiente interior.

Por fim e através de mais uma medida activa, prevê-se atingir com a micro-geração energética, através da produção de energia eléctrica por painéis fotovoltaicos, colmatar as necessidades energéticas de um edifício atingindo-se assim o objectivo inicialmente proposto.

4. Aplicação e análise do caso de estudo

O principal objectivo da investigação realizada é a aplicação das medidas, anteriormente descritas, a um edifício pertencente ao parque habitacional nacional. A implementação de estratégias que permitam alcançar os pressupostos de uma construção eficientemente energética deve ser feita, sempre que possível, numa fase inicial dos projectos de arquitectura e engenharia civil, para que o resultado construído seja coeso e eficiente, permitindo que no final seja alcançado o objectivo de atingir um balanço energético quase nulo nesse edifício.

O caso de estudo é o projecto da moradia Casuarina do empreendimento Casas de Santo António. A escolha deste edifício residencial recaiu por este ser um edifício pertencente ao parque habitacional português e por este apresentar ao meu dispor todos os elementos necessários para proceder à sua análise.

Numa primeira fase, serão implementadas na habitação unifamiliar em estudo, as características tipo de uma habitação portuguesa, tanto ao nível construtivo do edifício, bem como ao nível dos seus consumos energéticos. Serão efectuadas modelações computacionais com a finalidade de testar o comportamento térmico e a iluminação natural interior do edifício em estudo, com as características tipo de uma habitação portuguesa, permitindo compreender o comportamento do mesmo. Esta primeira fase constituirá o Modelo 1.

Na segunda fase, serão aplicadas todas as medidas possíveis enunciadas no Capítulo 3, descrevendo-se toda a tipificação da envolvente do edifício. Este modelo será modelado computacionalmente a fim de ser testado o comportamento térmico e iluminação natural deste edifício, bem como a determinação da insulação na cobertura. Por fim, através das medidas activas descritas anteriormente, pretende-se alcançar o balanço energético quase zero no edifício em causa. Esta segunda fase constituirá o Modelo 2.

Como metodologia de trabalho recorreu-se ao programa computacional Ecotect para realização das simulações relativas aos desempenhos térmico e de iluminação natural do edifício comparando os resultados obtidos para as diferentes estratégias, bem como analisar a exposição solar das coberturas de modo a testar a eficiência da introdução de painéis fotovoltaicos para microprodução de energia.

4.1. Apresentação do caso de estudo

O caso de estudo seleccionado para análise é o projecto da moradia Casuarina do empreendimento Casas de Santo António, localizado junto à Mata Nacional da Machada em Santo António da Charneca. O conjunto de moradias do qual a Casuarina faz parte situa-se na

conta nordeste do empreendimento, numa zona de moradias unifamiliares isoladas num ambiente natural.

O empreendimento é apresentado como tendo na base do projecto uma filosofia ambiental que se evidencia na “preservação e reforço do elemento verde natural, bem como na selecção e definição de materiais e da solução construtiva sustentável” [1]; no entanto esta intenção não é tão aprofundada como seria desejável, estando o edifício em análise longe de alcançar a meta da energia quase zero.

A moradia com uma área de 248m² desenvolve-se ao longo de dois pisos, albergando o piso 0 as áreas sociais – sala, cozinha, instalação sanitária e escritório - e o piso 1 os quatro quartos da casa e três instalações sanitárias. Todo o edifício tem uma forte relação com a envolvente exterior, com grandes vãos envidraçados que trazem a paisagem para dentro da casa.

A moradia, de cobertura plana, tem a sua entrada principal na fachada Noroeste; no entanto, as fachadas principais e com maiores vãos, são as fachadas Nordeste e Sudoeste. Este direccionamento das fachadas justifica-se principalmente por questões arquitectónicas de aproveitamento das vistas exteriores. Os materiais de revestimento são maioritariamente de cor branca com alguns elementos em tons cinza.

A Figura 4.1 apresenta as plantas tridimensionais do edifício em estudo, bem como a descrição das suas divisões.



Figura 4.1 – Planta do piso térreo (à esquerda) e do piso 1 (à direita) da Moradia Casuarína

4.2. O Ecotect e sua aplicação ao caso de estudo

O Ecotect é um programa desenvolvido na universidade de Cardiff pelo professor Andrew J. Marsh e comercializado pela Autodesk, que tem como principal utilidade a análise do comportamento ambiental dos edifícios durante a fase de projecto, permitindo analisar as várias opções construtivas.

Para analisar a moradia Casuarina, para os Modelos 1 e 2, foi introduzido no Ecotect um modelo tridimensional deste edifício, espelhando todos os aspectos da sua arquitectura, as características topográficas e a sua orientação solar de projecto.

Numa primeira fase, irá ser modelado o Modelo 1, já descrito anteriormente. Desta modelação resultarão as simulações para o mês de Janeiro (situação típica de Inverno) e para o mês de Julho (situação típica de Verão), no que respeita ao conforto térmico e iluminação natural interior, procurando assim analisar o seu comportamento.

Na segunda fase, correspondendo ao Modelo 2, já descrito anteriormente, serão feitas as mesmas análises executadas para o Modelo 1, com a inclusão do resultado da simulação dos níveis de insulação na cobertura.

Ambas as análises computacionais serão efectuadas adoptando uma abordagem purista, ou seja, sem contabilização dos usos e a ocupação do edifício.

Nas simulações de conforto térmico admite-se como temperatura de conforto o intervalo de temperatura entre os 18°C e os 26°C, sendo estes referenciados como valores *standards* a nível internacional. No entanto, com base em inúmeras investigações nesta área, os especialistas chegaram à conclusão que o conforto térmico não é assim tão linear, uma vez que as mesmas pessoas se podem sentir confortáveis em condições térmicas diferentes [47].

Para as simulações de iluminação natural interna tomam-se como níveis satisfatórios de iluminação natural o intervalo de 200 lux e 1800 lux.

4.3. Caso de estudo como modelo representativo de uma habitação tipo em Portugal – Modelo 1

Neste subcapítulo serão desenvolvidos todos os aspectos relativos ao consumo energético esperado para este edifício, tendo em conta que a presente habitação se destina a ser ocupada por cinco pessoas, bem como a sua caracterização da envolvente exterior e modelação comportamental do edifício através do programa Ecotect.

4.3.1. Caracterização da envolvente exterior

Tendo em conta a caracterização executada anteriormente, no estado de referência, para o sector doméstico português, caracterizam-se como envolvente tipo exterior as seguintes características para os descritos elementos que compõem a envolvente exterior de um edifício português:

- Tendo em vista que somente 18,9% do sector doméstico português padece de isolamento térmico na cobertura do edificado, será considerada, para a cobertura do edifício em estudo, uma cobertura plana sem isolamento térmico;
- Visto que somente 21,1% das habitações portuguesas apresentam isolamento térmico nas suas paredes exterior e que cerca de 52% das habitações portuguesas são compostas por paredes simples sem isolamento térmico, correspondendo às habitações construídas até 1990, considera-se como tipificação de parede exterior, uma parede de alvenaria simples de tijolo furado de 22 cm, sem isolamento térmico e com acabamento na face interior em estuque e exterior em reboco de argamassa tradicional;
- Tendo em conta que 69,46% do sector doméstico português foi construído até à data de 1990 e que até então não se ouvia falar da “Térmica” nos edifícios, pressupondo que o conforto térmico dos edifícios até então era baixo, não existindo quaisquer preocupações com o isolamento térmico nos pavimentos em contacto com o solo. Desta forma, considera-se como tipificação do pavimento térreo, uma laje sem isolamento térmico, executada com uma camada de pavimento, seja este em tacos de madeira para as zonas comuns (quartos, salas, escritório, etc.) ou em ladrilho cerâmico para as zonas técnicas (cozinha e casa-de-banho), betonilha de regularização, uma camada de massame de betão armado e, por fim, uma camada de enrocamento;
- Tendo em conta o ponto acima exposto, considera-se uma laje entre pisos executada com uma camada de pavimento, seja este em tacos de madeira para as zonas comuns (quartos, salas, escritório, etc.) ou em ladrilho cerâmico para as zonas técnicas (cozinha e casa-de-banho), betonilha de regularização, laje de betão armado e estuque projectado no interior.

As presentes considerações são extremamente necessária à caracterização e tipificação da envolvente exterior a adoptar, pois será a partir deste ponto que se procederá ao cálculo dos coeficientes de transmissão térmica dos referidos elementos que compõem a envolvente exterior e dos materiais que compõem a mesma envolvente. Estes coeficientes de transmissão térmica estão disponíveis no Anexo I, representando assim a tipificação de um edifício residencial português.

Quanto aos vãos envidraçados e tendo em conta que o envidraçado predominante da construção existente é o de vidro simples, considera-se para os vãos envidraçados o vidro simples de 6 mm de espessura, com caixilharia de alumínio sem corte térmico, de correr, resultando num coeficiente de transmissão térmica de $4,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ [54].

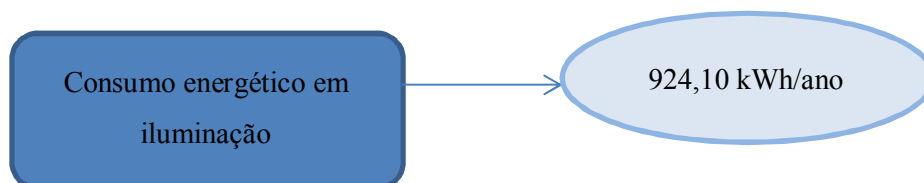
4.3.2. Iluminação

A iluminação artificial é responsável por 4,5% do consumo total de energia de um alojamento e 13,6% do consumo de electricidade, consumindo unicamente electricidade. Em Portugal continua a predominar o tradicional sistema de iluminação baseado em lâmpadas incandescentes. Tendo em conta o consumo energético no sector doméstico descrito anteriormente, procede-se ao cálculo do consumo médio de electricidade *per capita* anual descrito na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Determinação do consumo médio de energia eléctrica *per capita* anual [2]

Consumo total no sector doméstico	1,5 tep/alojamento
No sector doméstico apenas 49,4% são gastos na habitação	0,741 tep/alojamento
A electricidade representa 42,6% desse consumo	0,3156 tep/alojamento
1 GWh = 86 tep	3670 kWh/alojamento
Um alojamento tem em média 2,7 habitantes	1359 kWh/habitante

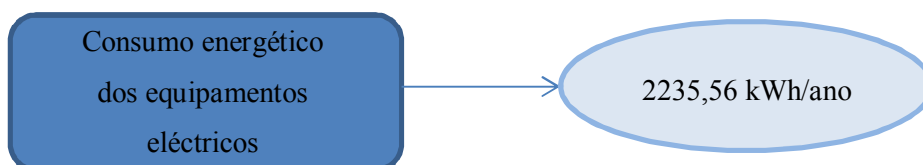
O consumo *per capita* anual de electricidade é de 1359 kWh/hab. Deste consumo 13,6% é iluminação, o que resulta em 184,82 kWh/hab/ano [2]. Tendo em conta os 5 habitantes, o consumo energético em iluminação é 924,10 kWh/ano.



4.3.3. Equipamentos eléctricos

Os equipamentos eléctricos têm um peso na factura energética de 10,9% do total energético consumido num alojamento. Sendo a electricidade a única fonte energética que estes consomem, os equipamentos eléctricos são responsáveis por 32,9% do consumo de electricidade de uma habitação.

O consumo *per capita* de electricidade é de 1359 kWh/hab/ano, o que tendo em conta os 5 habitantes do edifício, perfaz um consumo de electricidade de 6795 kWh/ano. Deste consumo 32,9% é para equipamentos eléctricos, o que resulta em 2235,56 kWh/ano de electricidade para o funcionamento dos equipamentos eléctricos.



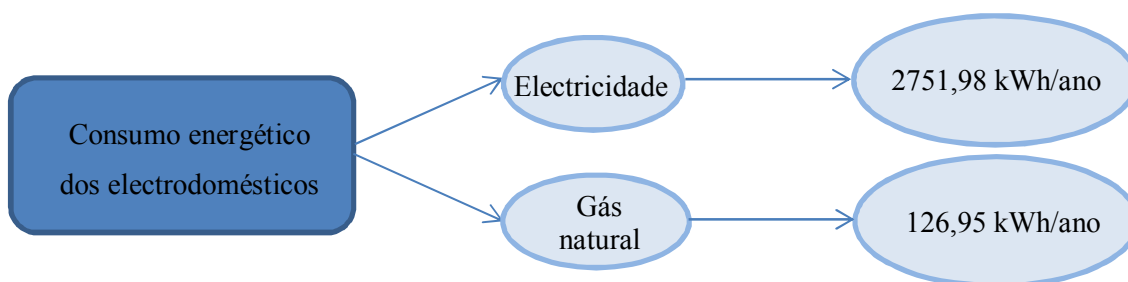
4.3.4. Electrodomésticos

Pressupondo do princípio que esta habitação consumirá somente electricidade e gás natural, a divisão do consumo na cozinha por tipo de fonte resultará de 78,26% em electricidade e 21,74% em gás natural.

Desta forma, 8,8% do consumo total de gás natural será para a cozinha e 91,2% será para aquecimento de águas sanitárias. O consumo médio anual de gás natural por alojamento é estimado em 779 kWh/alojamento para uma média de 2,7 pessoas por alojamento. O consumo médio *per capita* é estimado em 288,52 kWh/hab/ano. Considerando os 5 habitantes da residência, o consumo de gás natural será de 1442,6 kWh/ano.

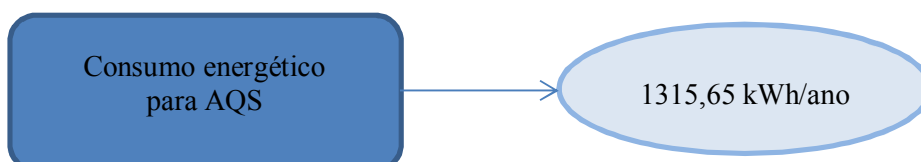
Assim, estima-se em 126,95 kWh/ano o consumo de gás natural nos electrodomésticos.

Sendo a cozinha responsável por 40,5% do consumo de electricidade, ou seja, tendo em conta o consumo global para os 5 habitantes de 6795 kWh/ano em electricidade, o consumo de electricidade para os electrodomésticos estima-se em 2751,98 kWh/ano.



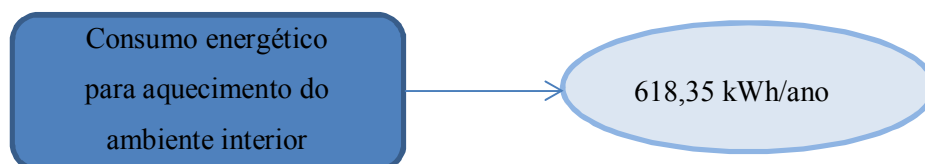
4.3.5. Aquecimento de águas sanitárias

O aquecimento de águas sanitárias é feito exclusivamente através do uso de esquentador. As AQS são responsáveis por 23,5% do consumo de energia de um edifício. Tendo em conta que se considerou o consumo de gás somente para electrodomésticos e AQS e visto que do consumo total de gás natural já foram consumidos 126,95 kWh/ano dos 1442,6 kWh/ano, prevê-se um consumo energético para o AQS de 1315,65 kWh/ano.



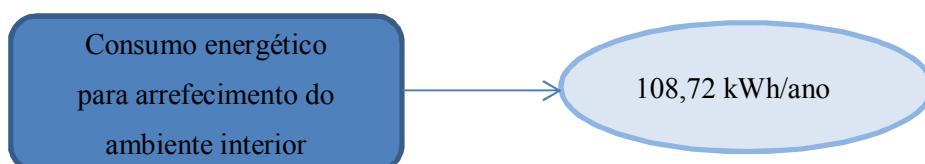
4.3.6. Aquecimento do ambiente interior

O aquecimento do ambiente interior de uma habitação é responsável por 9,1% do consumo de electricidade numa habitação, sendo que este é maioritariamente executado através de aquecedores eléctricos, que consomem exclusivamente electricidade. Visto que o consumo global de electricidade é estimado em 6795 kWh/ano, o consumo energético tido para este efeito é estimado em 618,35 kWh/ano.



4.3.7. Arrefecimento do ambiente interior

O arrefecimento do ambiente interior é responsável por 1,6% do consumo de electricidade numa habitação. Este, é conseguido através de equipamentos eléctricos, que por sua vez só consomem electricidade para o seu funcionamento. Tendo em conta o consumo global de electricidade de 6795 kWh/ano, o consumo energético tido para este efeito é estimado em 108,72 kWh/ano.



4.3.8. Análise do modelo habitacional através do Ecotect

A modelação computacional do edifício em causa, será feita para o dia 21 de Julho e de Dezembro às 12 horas, sendo estes, períodos que representam as situações típicas de Verão e Inverno.

Temperatura e conforto interno

Na simulação de conforto térmico para o piso 0, a temperatura radiante média para o dia 21 de Janeiro às 12 horas, as temperaturas registadas encontram-se entre os 14°C e os 19°C (Figura 4.2).

Thermal Comfort
Mean Radiant Temp
Value Range: 14.00 - 16.00 °C
(c) ECOTECT v8

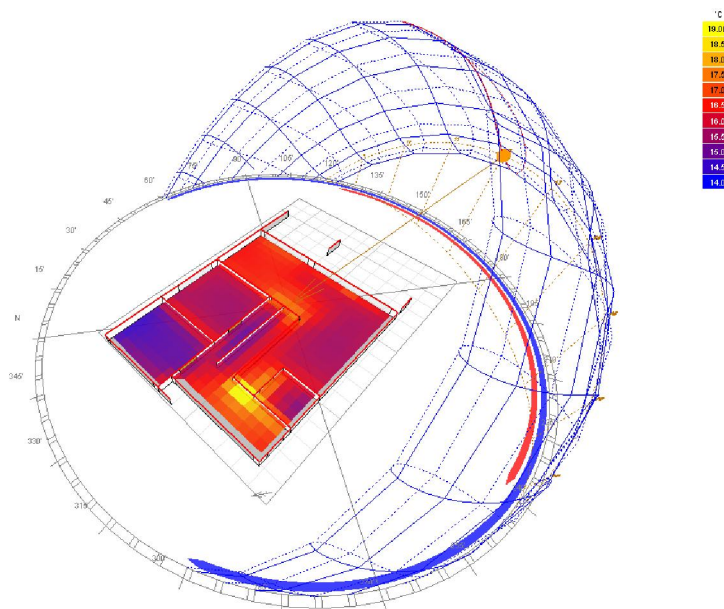


Figura 4.2 - Temperatura média radiante do piso térreo para o dia 21 de Janeiro

Na simulação de conforto térmico para o piso 1, a temperatura radiante média no dia 21 de Janeiro às 12 horas, como mostra a Figura 4.3, regista valores entre os 12°C e os 17°C.

Thermal Comfort
Mean Radiant Temp
Value Range: 12.00 - 17.00 °C
(c) ECOTECT v8

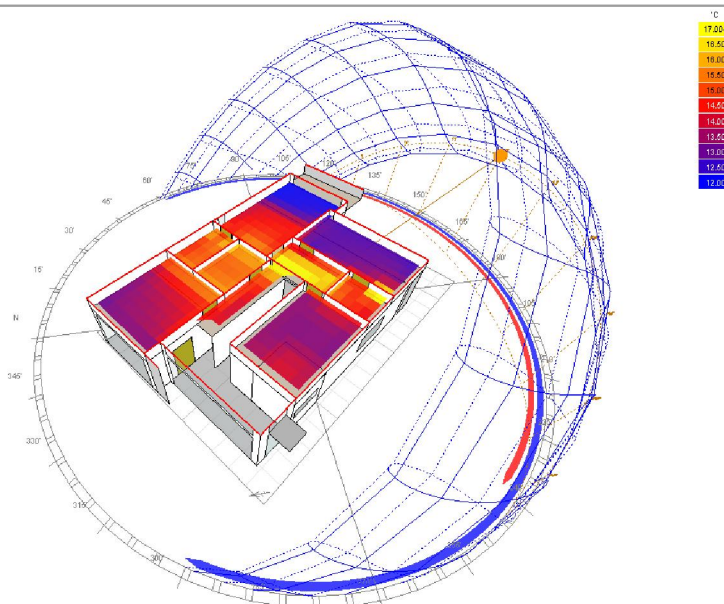


Figura 4.3 - Temperatura média radiante do piso 1 para o dia 21 de Janeiro

Analisando os valores de temperatura radiante média simulados para os pisos térreo e 1 constata-se uma elevada diferença entre os valores máximos e mínimos obtidos, o que denota um mau comportamento passivo da sua envolvente exterior opaca. Estes valores são desfavoráveis à obtenção de um conforto interno satisfatório. Os baixos valores de temperatura radiante média combinados com um mau comportamento passivo do edifício confirmam as necessidades de aquecimento interior, anteriormente estimadas.

Thermal Comfort
Mean Radiant Temp
Value Range: 28.00 - 35.00 °C
(c) ECOTECT v6

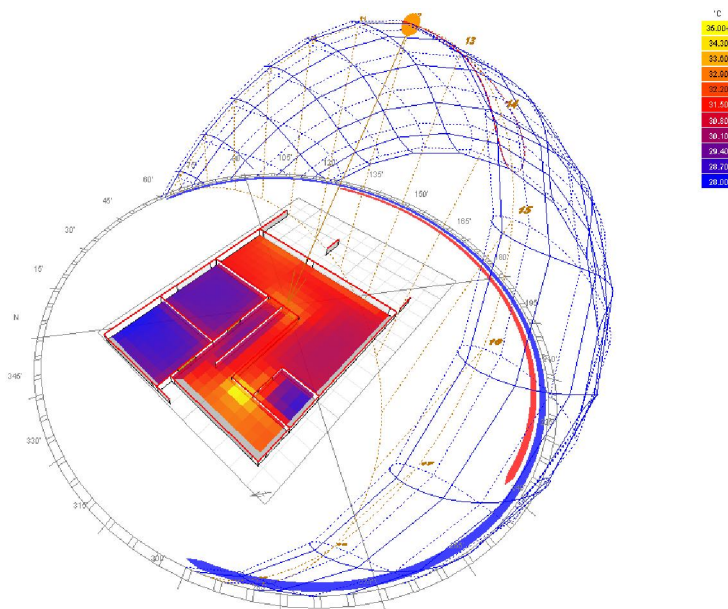


Figura 4.4 - Temperatura média radiante do piso térreo para o dia 21 de Julho

Na simulação de conforto térmico para o piso térreo, a temperatura radiante média no dia 21 de Julho (Figura 4.4), regista valores entre os 28°C e os 35°C.

Thermal Comfort
Mean Radiant Temp
Value Range: 24.0 - 34.0 °C
(c) ECOTECT v6

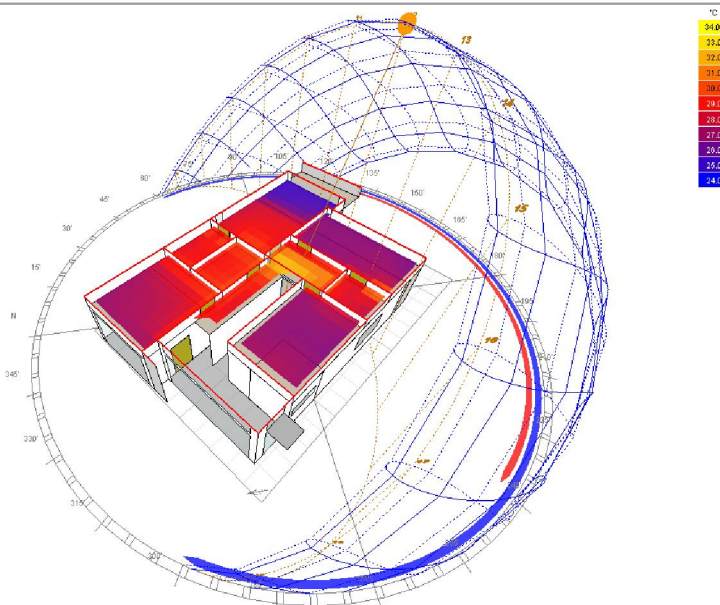


Figura 4.5 - Temperatura média radiante do piso 1 para o dia 21 de Julho

Para o caso do piso 1 (Figura 4.5), no mês de Julho a temperatura radiante média situa-se entre os 24°C e os 34°C. Tendo em conta que os envidraçados neste piso apresentam uma área de envidraçado inferior ao piso térreo, é natural que os ganhos por radiação sejam menores e que a temperatura radiante média também assim o seja.

À semelhança do que se verificou para a situação de Inverno, também na situação de Verão os valores simulados apresentam uma acentuada disparidade, o que, com as características da envolvente exterior opaca e dos grandes vãos envidraçados provenientes do

desenho arquitectónico desta habitação, era esperado que para esta altura do ano, os resultados fossem semelhantes aos resultados obtidos, corroborando assim as necessidades de arrefecimento previstas anteriormente para a época de Verão.

Iluminação natural

Os resultados obtidos pelo Ecotect, para iluminação natural anual do espaço ao nível do piso térreo (Figura 4.6) estão entre os 180 e 4480 lux.

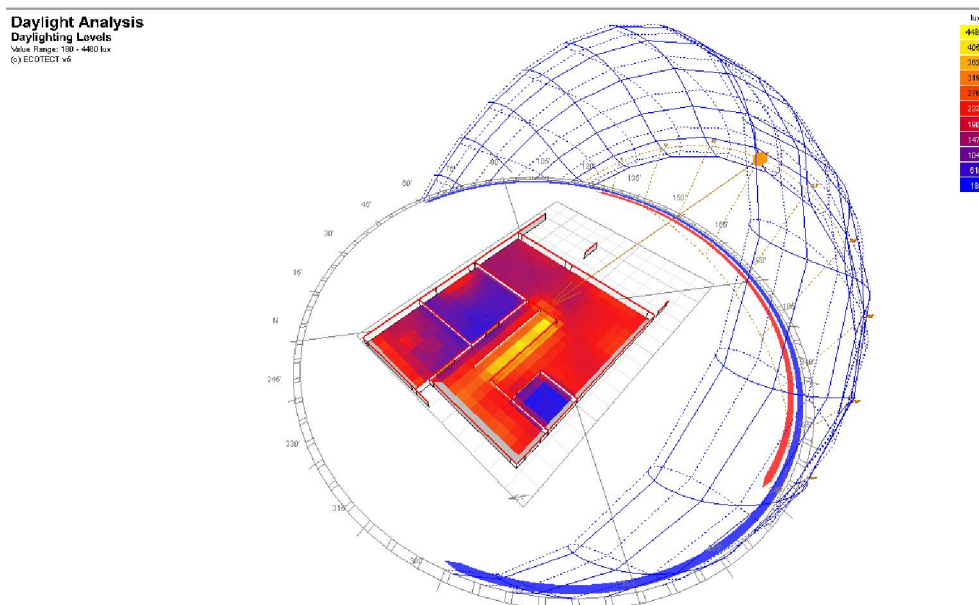


Figura 4.6 - Nível de iluminação natural anual do piso térreo

Os níveis de iluminação natural apresentam valores satisfatórios no escritório, cozinha e sala, no entanto o W.C. 1 apresenta um fraco nível de iluminação natural encontrando-se abaixo dos 200 lux.

Os níveis de iluminação natural anual do espaço ao nível do piso 1 (Figura 4.7) estão entre os 24 e 2824 lux.

Estes níveis apresentam-se no geral, mais baixos comparativamente ao nível de iluminação natural do piso térreo. Este comportamento deve-se sobretudo às áreas dos envidraçados, consideravelmente inferiores às do piso térreo, que diminuem a iluminação natural no interior do edifício.

A W.C. 3 apresenta níveis iluminação natural entre os 24 e os 304 lux, o que se percebe que existirão zonas dentro desta divisão com níveis de iluminação deficitários, ou seja, abaixo dos níveis satisfatórios, que também poderá ser sentida na zona mais interior do quarto 1.

De uma forma geral a iluminação natural dentro deste edifício encontra-se entre os níveis considerados satisfatórios.

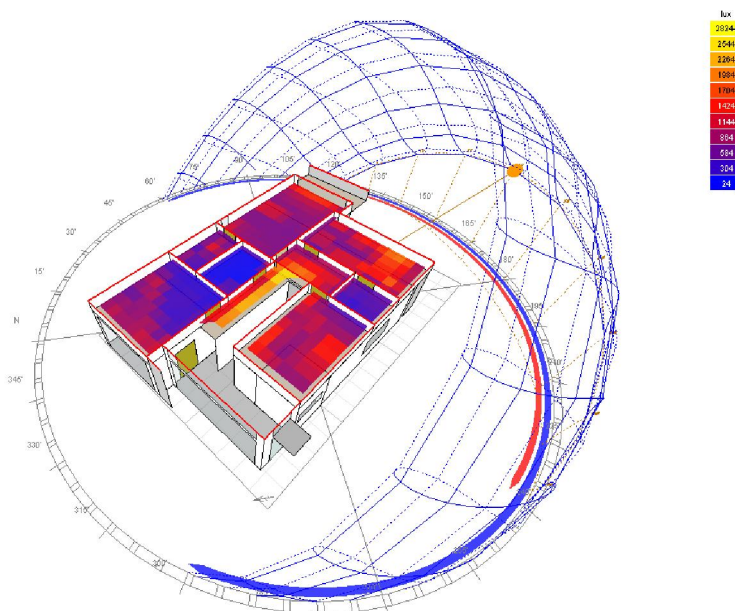


Figura 4.7 - Nível de iluminação natural anual do piso 1

4.3.9. Balanço energético do Modelo 1

Tendo em conta os consumos energéticos previstos para o presente Modelo 1, faz-se agora um balanço energético do edifício, visível na Figura 4.8, descriminando todas as suas necessidades energéticas previstas.

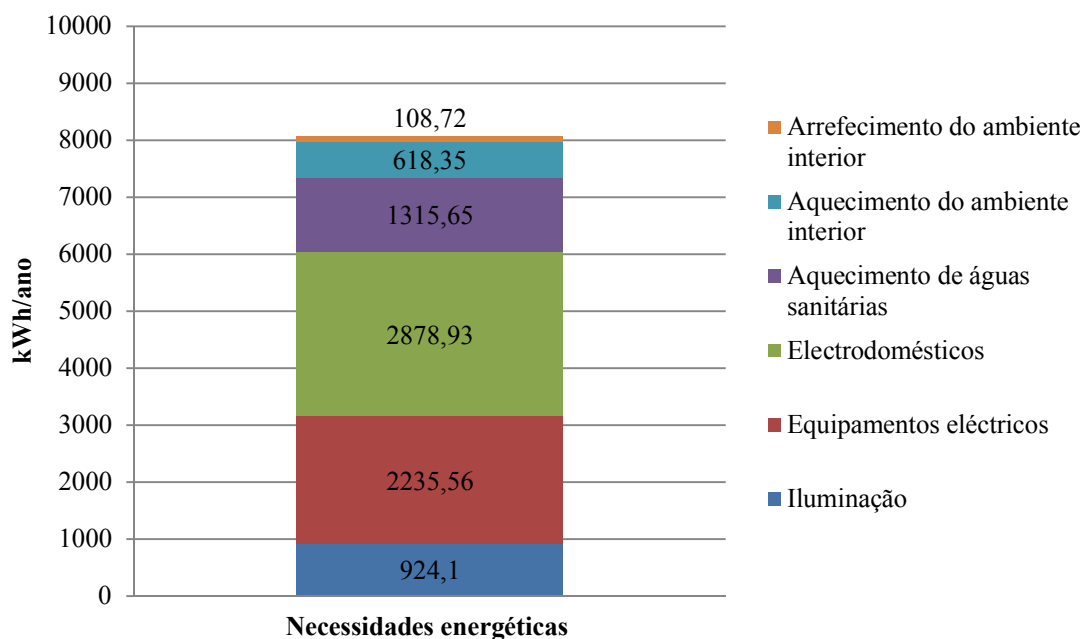


Figura 4.8 - Balanço energético do Modelo 1

No total, estima-se para o edifício 8081,31 kWh/ano de necessidades energéticas anuais.

4.4. Caso de estudo com a aplicação das medidas estudadas – Modelo 2

Na presente secção pretende-se aplicar as medidas passivas e activas descritas no Capítulo 3, tendo como estado de referência o balanço energético do Modelo 1, de forma a alcançar o balanço energético quase nulo do edifício em estudo no Modelo 2.

4.4.1. Caracterização da envolvente exterior

A envolvente exterior, constituída pelas paredes exteriores, cobertura e pavimento térreo, estão disponíveis no Anexo II, onde também se pode encontrar pavimento entre pisos e todos os parâmetros para a sua correcta definição, bem como o coeficiente de transmissão térmica destes elementos. Será também descrita a composição dos envidraçados que compõem a envolvente exterior.

No entanto, para uma correcta descrição de todos os elementos deste edifício, entendo ser necessário a descrição dos elementos que o compõem.

O pavimento do piso térreo é executado com pavimento flutuante com 0,5 cm de espessura na zona comum ou com ladrilho cerâmico com 1 cm de espessura na zona técnica, uma camada de betonilha de regularização com 5 cm de espessura, barreira pára-vapor, massame de betão armado com 15 cm e por fim, uma camada de enrocamento com espessura de 20 cm sob filtro geotêxtil.

O pavimento entre pisos é realizado com 0,5 cm de espessura na zona comum ou com ladrilho cerâmico com 1 cm de espessura na zona técnica, uma camada de betonilha de regularização com 5 cm de espessura, isolamento térmico de XPS com 6 cm nas zonas em contacto com zonas não aquecidas, laje de 15 cm de espessura em betão armado e estuque projectado com 1,5 cm.

No caso da cobertura, será plana invertida (isolamento térmico sobre impermeabilização) e de acesso limitado. Será composta por uma camada com 8 cm de espessura de seixo rolado, isolamento térmico de XPS com 6 cm de espessura, camada de impermeabilização, uma camada de betonilha de regularização com 10 cm de espessura, laje de 15 cm de espessura em betão armado e estuque projectado com 1,5 cm.

A solução para parede exterior em pano simples com sistema ETICS. Esta é com posta por um pano exterior de reboco tradicional com 1 cm de espessura (esta camada engloba a camada de primário com a camada de base), armadura em fibra de vidro, isolamento térmico de XPS com 6 cm, um pano de alvenaria de tijolo perfurado de 25 cm de espessura e um acabamento interior em estuque projectado com 1,5 cm de espessura.

A solução de isolamento térmico com 6 cm de espessura mostra-se ser a melhor solução para a zona climática I₁ onde esta habitação se insere [57].

Todos os coeficientes de transmissão térmica dos elementos da envolvente exterior opaca deste modelo estão disponíveis no Anexo II.

Como solução de envidraçados exteriores foi escolhido o sistema de janela de correr FINISTRAL, que consiste numa caixilharia em PVC, com vidro duplo e argon no espaço entre panos de vidro. O pano de vidro exterior tem 6 mm de espessura, o espaço entre panos de vidro tem 16 mm de espessura e o pano de vidro interior apresenta 6mm [68]. Adoptando esta solução, os vãos envidraçados terão um coeficiente de transmissão térmica de 1,3 W/m².°C.

4.4.2. Análise do modelo habitacional através do Ecotect

De forma a conferir um melhor comportamento ao edifício na modelação do Modelo 2 e tendo em conta as medidas passivas abordadas no Capítulo 3, para além dos aspectos construtivos da envolvente já referidos, efectuaram-se às seguintes modificações no presente modelo:

- Orientou-se o edifício, para que a sala, o quarto 2 e o quarto 4 ficassem virados a Sul aumentando assim os seus ganhos de calor e de iluminação natural durante o Inverno;
- Diminuíram-se as áreas de envidraçados da fachada a Norte de 40,46 m² para 9,4 m², pretendendo a diminuição das perdas de calor durante o Inverno, que poderá ter um efeito desvantajoso em termos de iluminação natural nas divisões situadas a Norte;
- Colocação na fachada Este do escritório e do quarto 1, de um envidraçado com área de 2,2 m², para cada uma destas divisões, por forma a aumentar a iluminação natural nestes dois compartimentos.

Temperatura e conforto interno

A temperatura radiante média para a situação de arrefecimento, como mostra a Figura 4.9, situa-se entre os 14°C e 15°C, verificando-se uma diminuição da máxima em relação à máxima obtida no Modelo 1 para o mesmo período.

Thermal Comfort
Mean Radiant Temp
Value Range: 14.00 - 16.00 °C
(c) ECOTECT v5

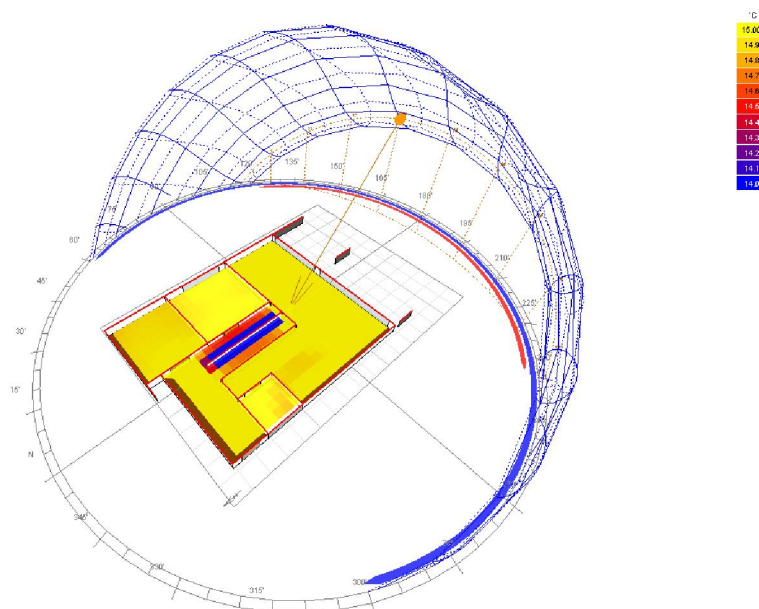


Figura 4.9 - Temperatura média radiante do piso térreo para o dia 21 de Janeiro

A temperatura radiante média do piso 1 para a situação de Inverno, como mostra a Figura 4.10, situa-se entre os 12°C e 14°C, verificando-se uma diminuição da máxima em relação à máxima obtida no Modelo 1 para o mesmo período, tal como aconteceu para o piso térreo.

Thermal Comfort
Mean Radiant Temp
Value Range: 12.00 - 14.00 °C
(c) ECOTECT v5

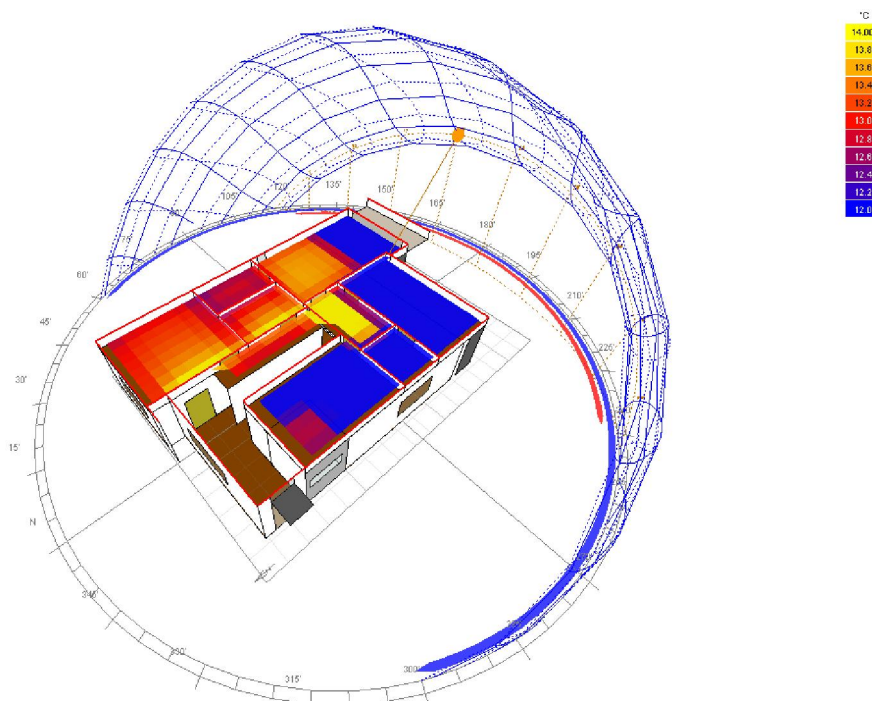


Figura 4.10 - Temperatura média radiante do piso 1 para o dia 21 de Janeiro

A diminuição da máxima temperatura radiante média é causada pela melhoria dos vãos envidraçados, pela inclusão de uma película de baixa emissividade que diminui os ganhos por radiação, reorientação do edifício, diminuição das áreas dos vãos envidraçados a Sul e aumento dos vãos envidraçados a Este.

Duma forma geral, obteve-se um intervalo de temperatura radiante média mais concentrado, implicando uma homogeneização das temperaturas radiantes médias. Este facto conjugado com o bom comportamento passivo da envolvente exterior, possibilita que as temperaturas internas se aproximem do intervalo de conforto térmico, no entanto, não é suficiente para eliminar as necessidades de aquecimento durante a estação fria.

A temperatura radiante média do piso térreo para o dia 21 de Julho às 12 horas (Figura 4.11), regista valores entre os 28°C e 33°C, em que a máxima é inferior ao obtido no Modelo 1, para o mesmo período.

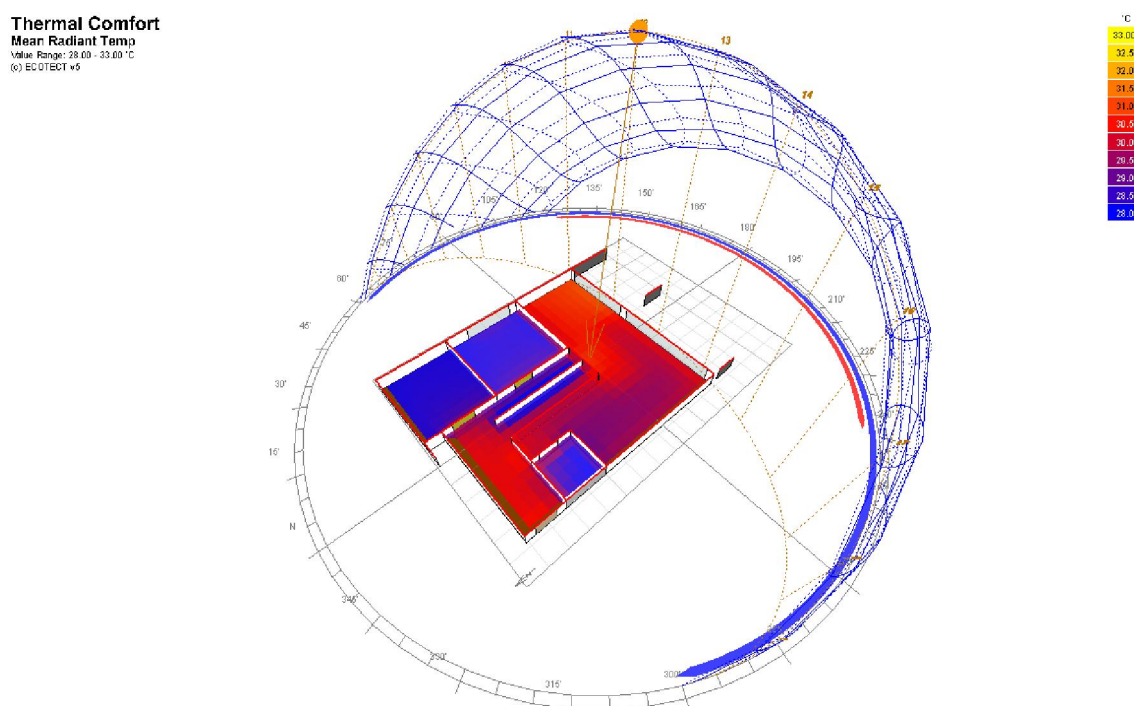


Figura 4.11 - Temperatura média radiante do piso térreo para o dia 21 de Julho

A temperatura radiante média para o dia 21 de Julho (Figura 4.12), mostra-se variada entre os 24°C e os 29°C.

Esta diminuição da máxima temperatura radiante média, conjugado com a inércia térmica conferida aos elementos da sua envolvente opaca e com o bom comportamento passivo do edifício do Modelo 2, colocam o edifício com temperaturas internas no intervalo de conforto para a situação de Verão, eliminando assim a necessidade de recorrer a sistemas mecânicos para arrefecimento do interior do edifício.

Thermal Comfort
Mean Radiant Temp
 Value Range: 24.00 - 29.00 °C
 (c) ECOTECT v5

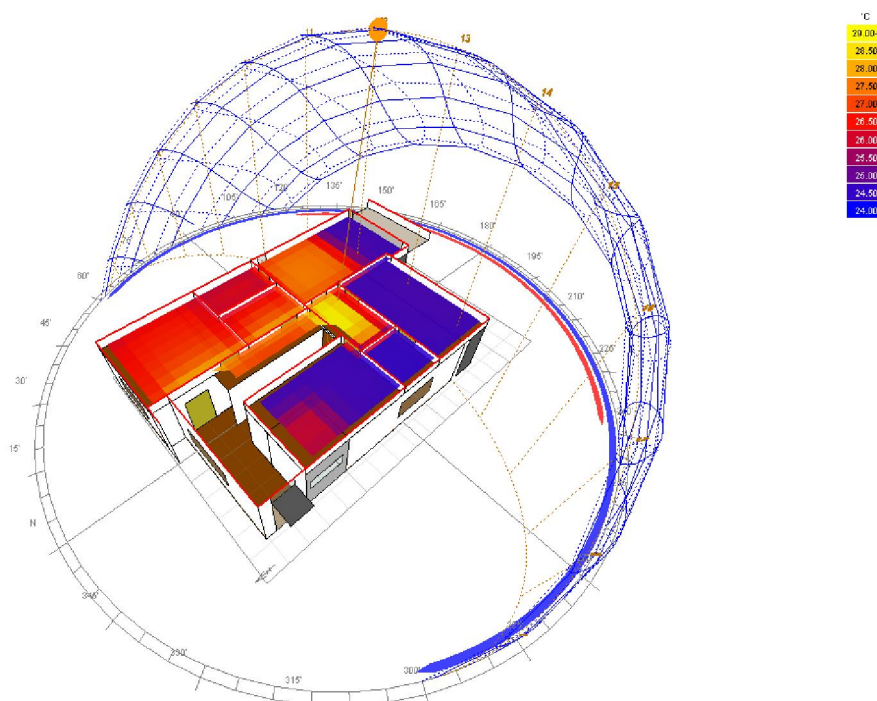


Figura 4.12 - Temperatura média radiante do piso 1 para o dia 21 de Julho

Iluminação natural

Os resultados obtidos pelo Ecotect, para iluminação natural anual do espaço ao nível do piso térreo (Figura 4.13) estão entre os 140 e 2440 lux, enquanto, para o piso 1 os níveis de iluminação natural anual se situam entre os 21 e 2421 lux.

Daylight Analysis
Daylighting Levels
 Value Range: 140 - 2440 lux
 (c) ECOTECT v5

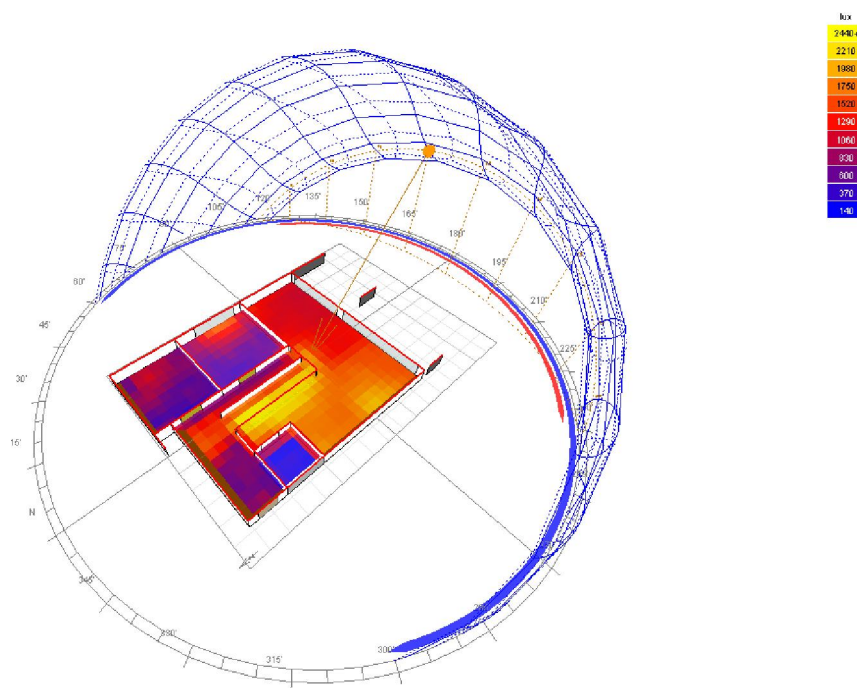


Figura 4.13 - Nível de iluminação natural anual do piso térreo

Em termos de iluminação natural, analisando tanto a Figura 4.13 e como a Figura 4.14, verifica-se que com a reorientação do edifício, a iluminação natural interna é muito mais regular no seu interior, comparativamente ao Modelo 1, e que os valores registados cumprem os mínimos exigidos para uma iluminação satisfatória e chegando a superar o seu limite superior.

No entanto, com a reorientação do edifício, a sala apresenta menor iluminação natural anual, devido ao sombreamento provocado pela laje e varanda do quarto 2.

Quando se reorientou o edifício tentou-se ao máximo não se alterar significativamente as suas características arquitectónicas, registando-se valores insatisfatórios de iluminação natural no W.C. 1 e W.C. 3.

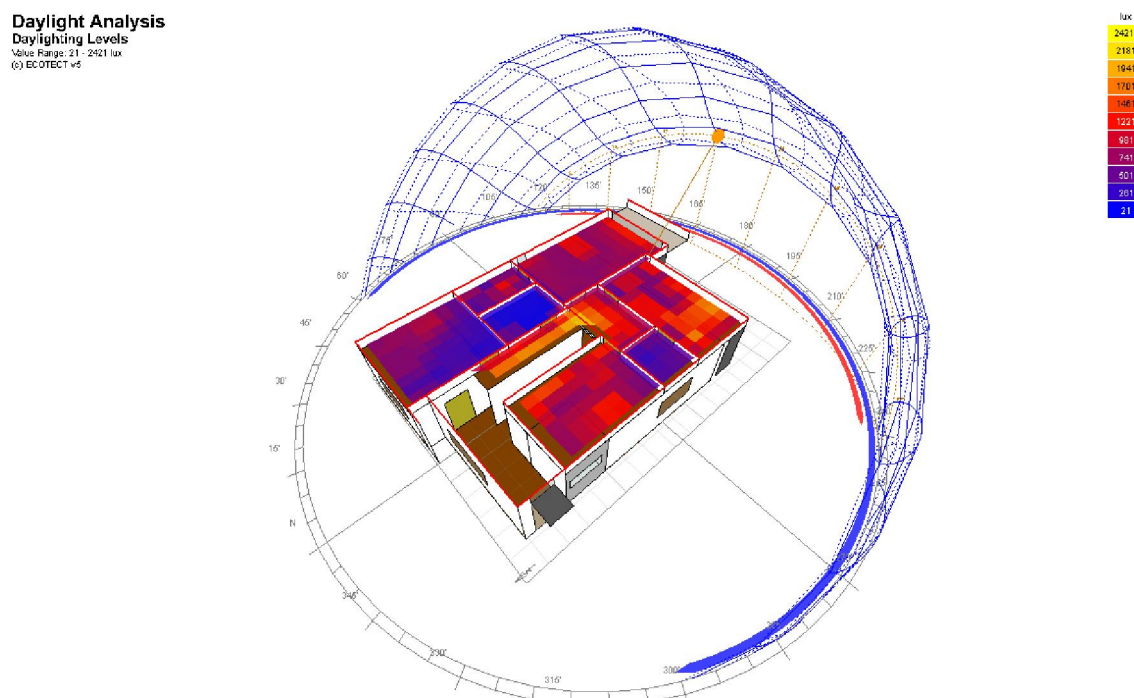
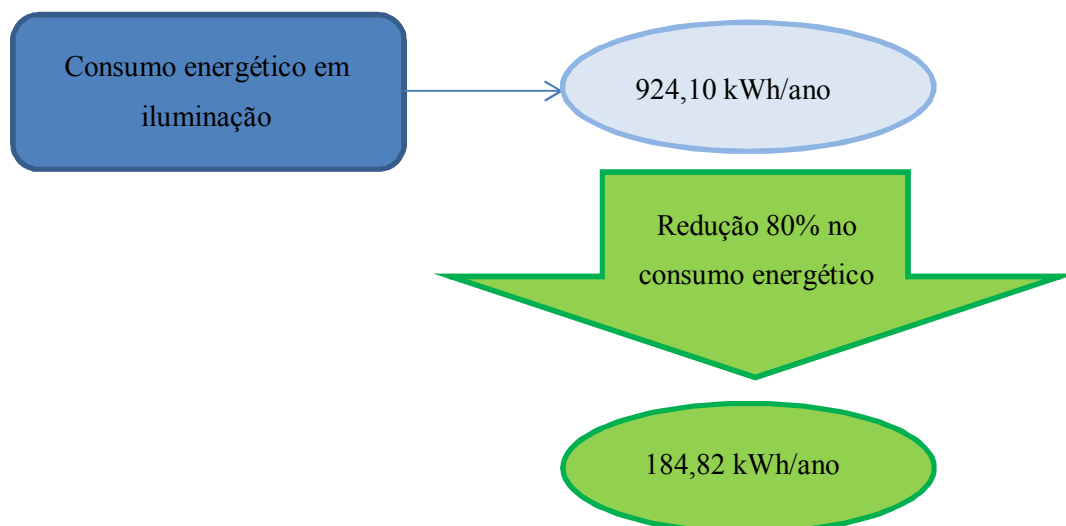


Figura 4.14 - Nível de iluminação natural anual do piso 1

4.4.3. Iluminação

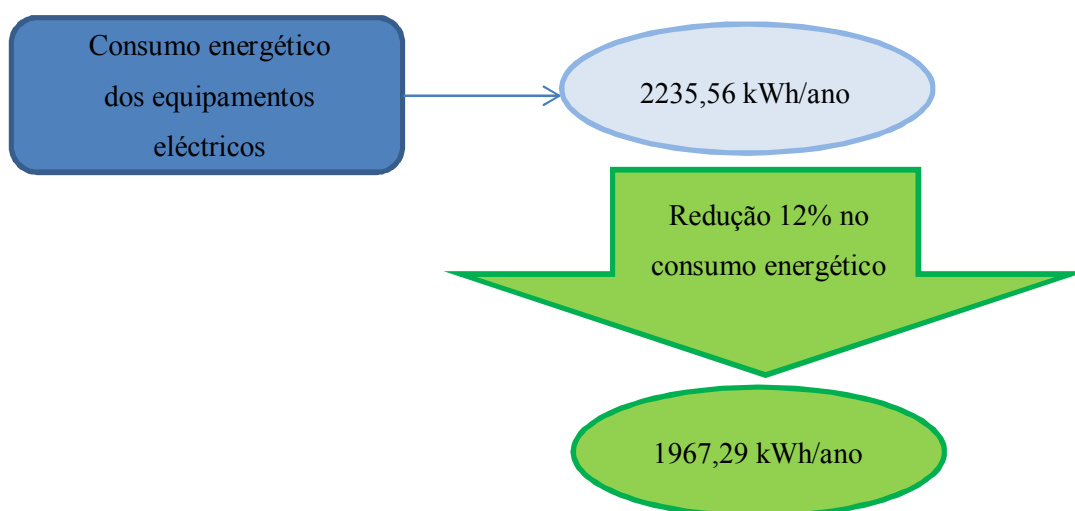
O consumo energético em iluminação foi estimado em 924,10 kWh/ano no caso do Modelo 1, tendo sido concluído que este consumo se deve ao predomínio do tradicional sistema de iluminação baseado em lâmpadas incandescentes.

Com a substituição de lâmpadas incandescentes, por lâmpadas fluorescentes compactas, prevê-se uma redução no consumo de energia de 80%. Desta forma, a factura energética passaria dos 924,10 kWh/ano para os 184,82 kWh/ano.



4.4.4. Equipamentos eléctricos

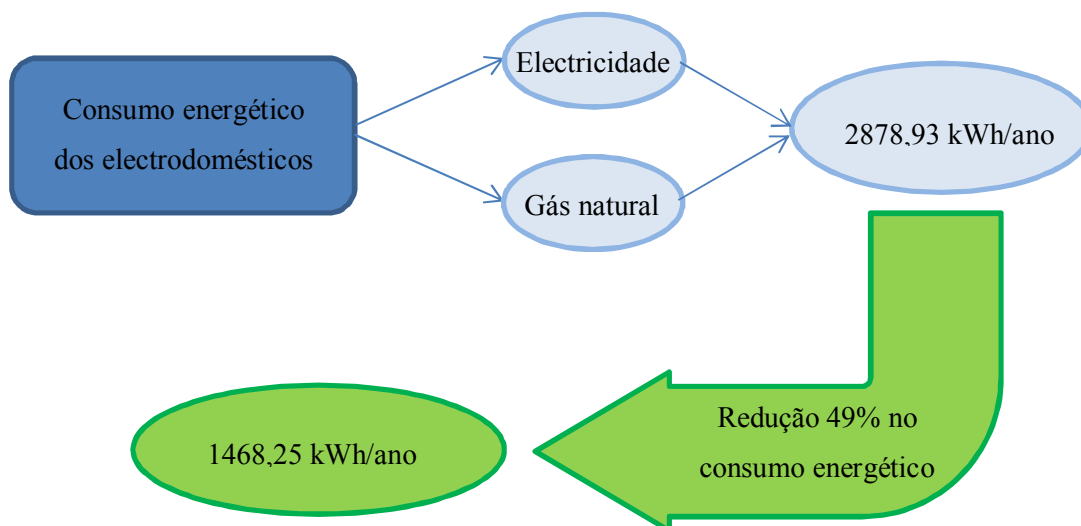
O consumo de energia afectado aos equipamentos eléctricos registado inicialmente foi estimado em 2235,56 kWh/ano. Através da medida comportamental dos utilizadores em desligar todos os equipamentos standby, prevê-se uma redução dos consumos em 12% nos consumos destes equipamentos, resultando num consumo final de 1967,29 kWh/ano.



4.4.5. Electrodomésticos

Os electrodomésticos são responsáveis pelo consumo de 2751,98 kWh/ano em electricidade e em gás natural de 126,95 kWh/ano. A medida inicial a ser implementada é a troca de todos os electrodomésticos a gás natural por electrodomésticos equivalentes mas eléctricos. Tendo em conta que no parque habitacional português estes são maioritariamente de classe energética “A”, a sua substituição para electrodomésticos de classe energética “A+++” irá permitir reduzir a factura energética em 49% no consumo energético em electrodomésticos.

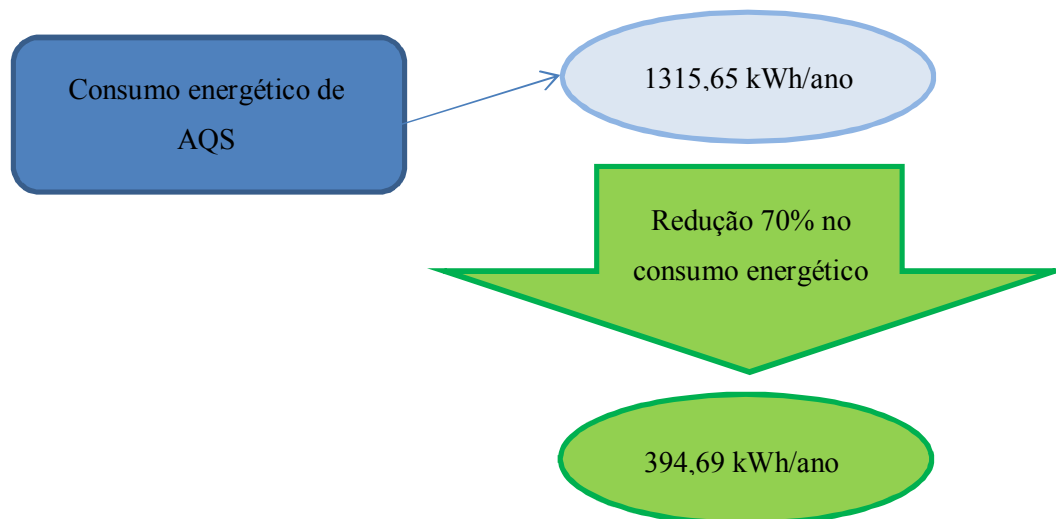
Desta forma estima-se que o consumo inicial registado de 2878,93 kWh/ano seja reduzido em 1468,25 kWh/ano.



4.4.6. Aquecimento de águas sanitárias

O aquecimento de águas sanitárias é responsável por um consumo de gás natural previsto em 1315,65 kWh/ano. Através da substituição do sistema convencional de AQS, conseguido com recurso a esquentador, por colectores solares térmicos instalados na cobertura, prevê-se uma redução em 70% no consumo de energia para AQS, sendo exigindo pelo RCCTE 1 m² de colector solar térmico por habitante. Tendo em conta os 5 habitantes previstos para a habitação, serão instalados 5 m² de colectores solares térmicos com sistema de circulação forçada, que cobrirão as necessidades energéticas em cerca de 920,96 kWh/ano para o aquecimento de águas sanitárias.

As necessidades energéticas passam de 1315,65 kWh/ano para 394,69 kWh/ano.



4.4.7. Aquecimento do ambiente interior

O consumo energético tido para este efeito é estimado em 618,35 kWh/ano. Através do aumento da inércia térmica do edifício e da melhoria da resistência térmica de toda a envolvente exterior (tendo aumentado), tentou-se aumentar a capacidade de armazenamento de calor de toda a envolvente exterior e diminuir as trocas de calor do edifício com o exterior.

Desta forma, o edifício teria a capacidade de acumular o calor durante o Verão e de libertar esse calor durante o Inverno, melhorando o conforto interno durante todo o ano.

No entanto esta melhoria no comportamento do edifício não foi possível ser quantificada ou estimada, mesmo sabendo que o comportamento passivo do Modelo 2 foi consideravelmente melhorado.

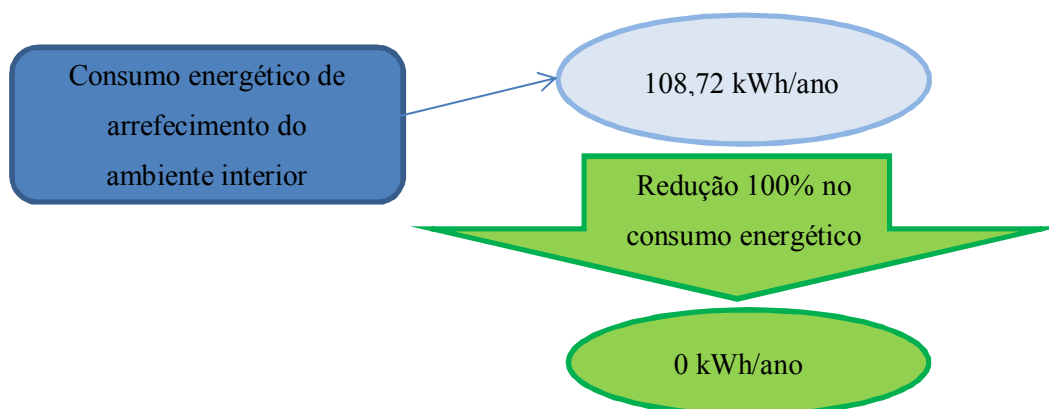
Considera-se assim que as necessidades de aquecimento do ambiente interior se mantêm e serão colmatadas através e radiadores hidráulicos instalados nas divisões da habitação, ligados ao sistema de circulação forçada para aquecimento de águas quentes sanitárias, que através de electricidade aquecerão a água que circula do depósito de águas para os radiadores hidráulicos.

O consumo energético para aquecimento do ambiente interior manter-se-á em 618,35 kWh/ano.

4.4.8. Arrefecimento do ambiente interior

O consumo energético previsto para o arrefecimento do ambiente interior estimado em 108,72 kWh/ano, prevê-se que as necessidades de arrefecimento interior sejam anuladas devido à melhoria térmica de toda a envolvente exterior, como pelos dispositivos de sombreamento exteriores que impedem o sobreaquecimento do espaço.

Relacionando estes aspectos ao comportamento da temperatura média radiante do edifício no Modelo 2, espera-se que a temperatura interna se situe entre o intervalo de conforto térmico. Pelo que, espera-se assim uma redução de consumo no arrefecimento do ambiente interior de 100%.



4.4.9. Balanço energético do Modelo 2

Tendo em conta as necessidades energéticas anuais previstas para o Modelo 1, que com a aplicação das medidas passivas e activas foram reduzidas através do aumento da eficiência energética e da diminuição dos consumos anuais de energia, permitiu alcançar o seguinte balanço energético para o Modelo 2:

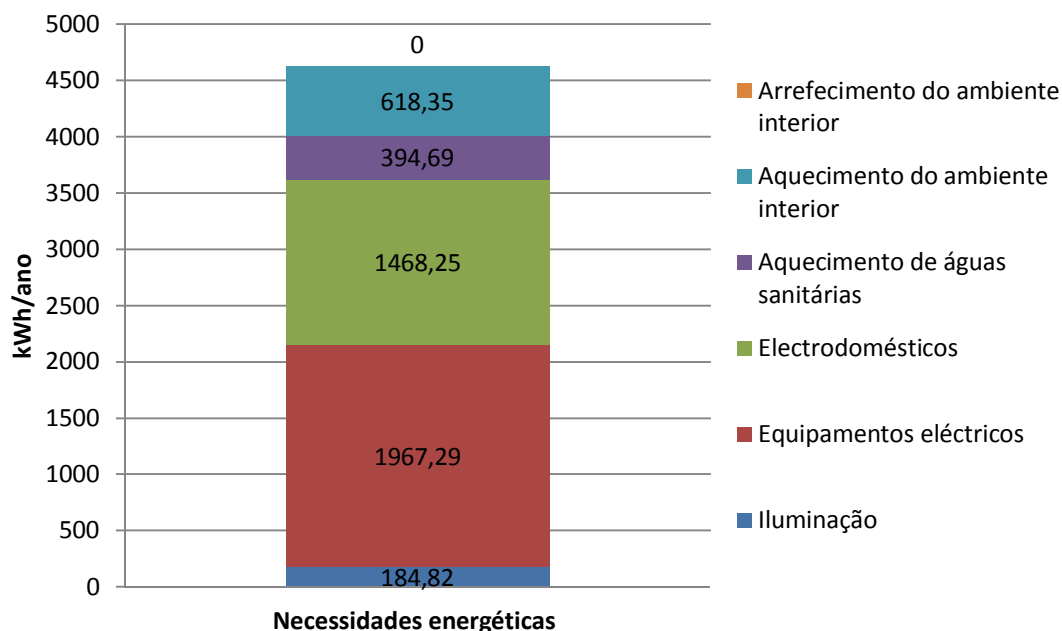


Figura 4.15 - Balanço energético do Modelo 2

Desta forma é estimado em 4633,40 kWh/ano de necessidades energéticas para o Modelo 2, o que significa uma redução em 42,67% das necessidades energéticas do Modelo 1 para o Modelo 2.

4.4.10. Dimensionamento dos painéis solares fotovoltaicos

Tendo como objectivo alcançar o estado de balanço quase zero para o Modelo 2, é necessário colmatar as necessidades energéticas do edifício através da produção energética a partir de fontes renováveis, com o recurso à instalação de painéis solares na cobertura do edifício.

A produção anual de energia fotovoltaica pode ser estimada pela expressão [67]:

$$\text{Produção anual de energia fotovoltaica} = PR \times Me \times Vst \times (A \times Gr \times 365)$$

Sendo PR o coeficiente de rendimento do sistema, Me a eficiência do módulo, Vst o valor da radiação solar em condições padrão de teste de irradiância, A a área de painéis fotovoltaicos da cobertura e GR a radiação solar diária.

Através dos valores de radiação para a cobertura do edifício mais elevada, obteve-se, com o recurso ao Ecotect, uma radiação média diária de 3749,476 Wh/m².

Considerou-se os módulos fotovoltaicos Martifer Solar PV modules 210p, com dimensões de 1639 mm por 982mm, o que perfaz uma área de painel de 1,6 m² aproximadamente, com potência de pico de 210 Wp e uma eficiência do módulo de 13,1%, como sistema de painéis fotovoltaicos a serem instalados na cobertura.

Tendo em conta que PR=0,75, Me=0,131, Vst=1 kWh/m² e Gr=3,749 kWh/m², a produção anual de energia fotovoltaica terá de igualar as necessidades energéticas estimadas em 4633,40 kWh/ano.

Assim:

$$4633,40 = 0,75 \times 0,131 \times 1 \times (A \times 3,749 \times 365)$$

O que resulta:

$$A = 34,46 \text{ m}^2$$

Cada módulo de painel fotovoltaico considerado tem uma área de 1,6 m², desta forma, terão de ser instalados 22 módulos de painéis fotovoltaicos na cobertura plana mais elevada do edifício, que apresenta uma área útil para instalação de painéis fotovoltaicos de 63 m².

Refazendo os cálculos, estes 22 módulos de painéis fotovoltaicos totalizam uma área total para geração de energia eléctrica de 35,2 m², o que dará uma produção de energia eléctrica de 4732,42 kWh/ano, atingindo-se o balanço energético quase zero para o edifício em estudo.

4.4.11. Balanço energético final do Modelo 2

Como já mostrado anteriormente, as necessidades energéticas finais foram estimadas em 4633,40 kWh/ano para o Modelo 2, reduzindo-se em 42,67% das necessidades energéticas estimadas para o Modelo 1. Adicionando-se ao balanço energético do Modelo 2 a produção energética conseguida através dos painéis fotovoltaicos instalados na cobertura, atinge-se o balanço energético quase zero, como mostra a Figura 4.16.

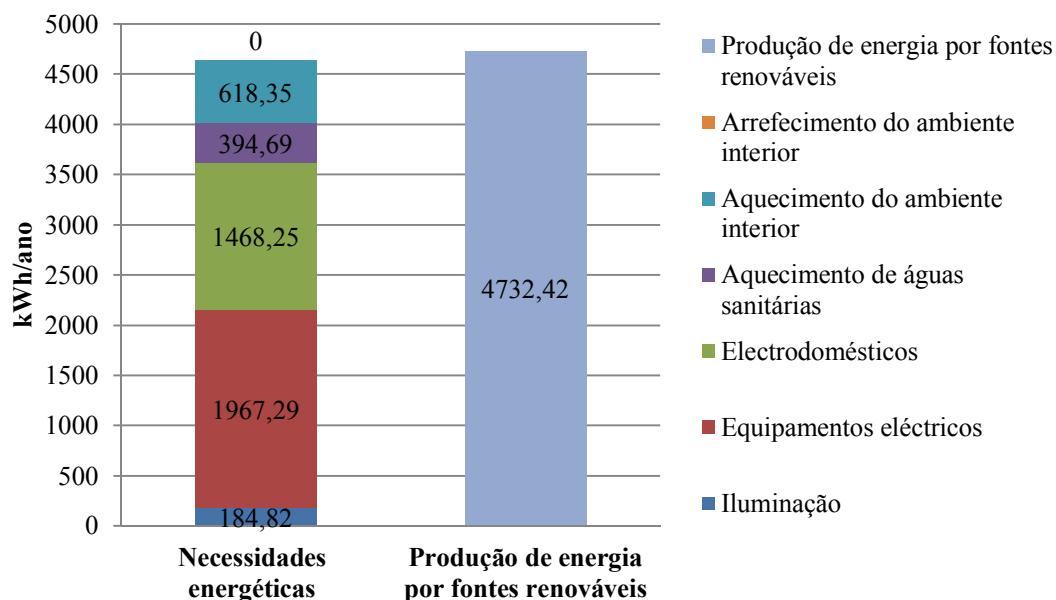


Figura 4.16 - Balanço energético final do Modelo 2

4.5. Discussão dos resultados obtidos

Fazendo uma análise comparativa dos consumos dos dois modelos, o Modelo 1 apresenta um balanço energético anual previsto em 8081,31 kWh/ano, enquanto o Modelo 2 necessita de 57,33% das necessidades energéticas anuais do Modelo 1, apresentando um balanço energético de 4633,10 kWh/ano, como mostra a Figura 4.17.

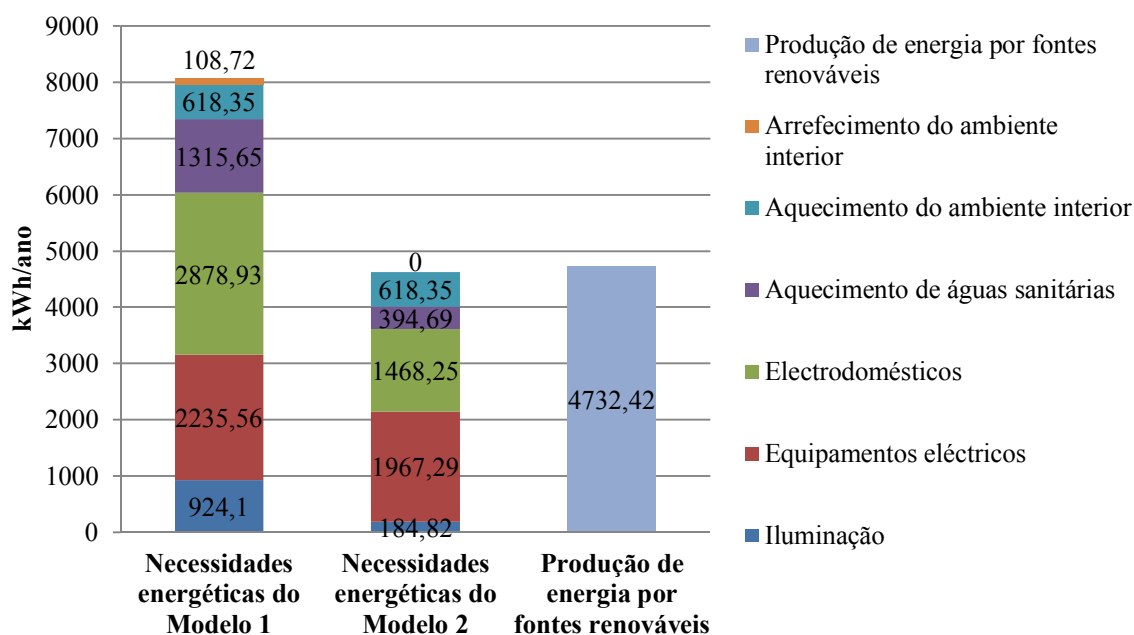


Figura 4.17 - Quadro comparativo dos balanços energéticos do Modelo 1 e Modelo 2

No total foram reduzidas em 42,67% as necessidades energéticas do Modelo 2 face ao previsto no Modelo 1.

Para além da melhoria energética registada através das medidas passivas e activas adoptadas, verificou-se também uma melhoria no comportamento do edifício, o que influenciou a diminuição das necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento do meio ambiente, apesar de considerar-se iguais as necessidades energéticas de aquecimento do ambiente para o Modelo 2, pois não foi possível proceder-se à quantificação dessa redução.

5. Conclusões

5.1. Conclusões gerais

Perante a forma insustentável como o ser humano tem vindo a gerir os recursos naturais, criando graves problemas ao planeta e as alterações climáticas frequentemente apontadas como o principal problema a nível global, as directivas europeias exigem aos países da União Europeia uma diminuição das emissões globais de gases com efeito de estufa e consequentemente obrigando a uma redução dos consumos de energia proveniente de fontes não renováveis.

Os edifícios representam 40% do consumo de energia total na União Europeia, sendo em Portugal o principal consumidor de energia, responsável por 30% do total de consumo energético do país.

A Directiva 2010/31/EU de 19 de Maio de 2010, vem exigir a Portugal que após 31 de Dezembro de 2018 os edifícios novos ocupados e pertencentes às autoridades públicas devam assegurar as necessidades energéticas quase nulas e que até 31 de Dezembro de 2020 todos os edifícios novos devam assegurar essas mesmas necessidades.

Neste contexto, mostra-se assim essencial o estudo de metodologias a adoptar na fase de projecto no edifício, de forma a alcançar o objectivo de construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero.

No presente trabalho foi adoptada uma estratégia que se resume à poupança e conservação de energia, à eficiência energética e ao aproveitamento do grande potencial que tem a energia solar, de forma a alcançar a sustentabilidade e o balanço energético quase zero num edifício. Esta estratégia materializou-se através das medidas passivas e activas descritas anteriormente no presente trabalho.

As medidas passivas referem-se ao controlo dos fluxos naturais de energia que ocorrem no edifício, à optimização das áreas passivas no interior da habitação, diminuindo as necessidades internas de iluminação artificial durante as horas de exposição solar, reduzindo as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício. As medidas activas referem-se à diminuição directa dos gastos energéticos do edifício, através da eficiência energética e aproveitamento de fontes de energia renovável, sem por em causa o bom e correcto desempenho do edifício e o seu conforto interno.

Como metodologia de trabalho foram consideradas duas situações modelo, Modelo 1 e Modelo 2, aplicadas ao caso de estudo da moradia Casuarina do empreendimento Casas de Santo António.

No Modelo 1 foi aplicada a tipificação da envolvente exterior considerando os aspectos arquitectónicos oriundos do projecto e os consumos médios de uma habitação portuguesa.

No Modelo 2 foram aplicadas as medidas passivas e activas de forma a atingir o objectivo a que o presente trabalho se propõe.

Foi utilizado o programa Ecotect para uma análise purista da temperatura radiante média para as situações de Inverno e Verão, bem como para a análise de iluminação natural anual dos dois modelos em estudo.

Da análise do Modelo 1, conclui-se o seu mau comportamento passivo e energético, sendo no entanto possível daí retirar várias conclusões que permitiram a estimativa das necessidades energéticas anuais de 8081,31 kWh/ano.

Através da aplicação das medidas passivas e activas ao Modelo 2, foi possível a redução das necessidades energéticas do edifício de 8081,31 kWh/ano para 4633,40 kWh/ano, conseguindo-se desta forma uma redução de 42,67%.

Após a diminuição das necessidades energéticas globais, estão reunidas as condições para o dimensionamento do sistema de produção de energia eléctrica através de painéis fotovoltaicos e optou-se pela sua colocação na cobertura mais elevada do edifício, visto esta apresentar a maior radiação média diária da envolvente exterior (3749,476 Wh/m²) e disponibilizar uma área útil de 63 m². Através dos cálculos para o dimensionamento dos painéis fotovoltaicos, conclui-se que as necessidades energéticas ficariam colmatadas através da colocação de 22 módulos de painéis fotovoltaicos totalizando uma área total para geração de energia eléctrica de 35,2 m².

Conclui-se, desta forma, que através da metodologia e das medidas passivas e activas adoptadas, atingiu-se o objectivo proposto para a presente dissertação sobre a construção sustentável de edifícios de balanço energético quase zero.

No entanto, sabendo que o balanço energético quase nulo não é uma característica inata de um edifício, para este balanço energético se verificar é essencial que os seus utilizadores tenham uma utilização racional da energia, evitando o desperdício energético e consumos excessivos no edifício.

5.2. Desenvolvimentos futuros

Dando continuidade aos temas discutidos ao longo desta dissertação, podem-se definir algumas das áreas que, tendo por base este trabalho, são passíveis de ser desenvolvidas em futuros trabalhos de investigação.

Tendo em conta o estudo realizado, mostra-se importante a quantificação dos gastos e ganhos energéticos para os modelos escolhidos, através da adopção do programa EnergyPlus como metodologia de cálculo e executar uma comparação entre os resultados obtidos;

Da mesma forma, mostra-se importante o desenvolvimento de outras medidas possíveis de implementar a um edifício, de forma a alcançar o mesmo objectivo proposto, obtendo assim uma maior leque de medidas passivas e activas.

O presente estudo realizado não envolveu nenhuma análise de custo/benefício, tornando-se assim importante, proceder a essa análise.

Bibliografia

- [1] EUROPA – *Protocolo de Quioto relativo às alterações climáticas*, http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/128060_pt.htm (21/09/2012);
- [2] INE, I.P.; DGEG - *Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010*, edição 2011, Lisboa, Outubro de 2011;
- [3] LNEG – *Edifícios de balanço energético zero*, <http://www.lneg.pt/iedt/areas/3/temas/16> (21/09/2012);
- [4] CASAS DE SANTO ANTÓNIO – *Morada Casuarina*, <http://www.casasdesantoantonio.pt/casuarina.html> (21/09/2012);
- [5] AGENCIA FINANCEIRA – *Portugal já exportou mais electricidade este ano que em 2009*, <http://www.agenciafinanceira.iol.pt/empresas/portugal-agencia-financeira-ren-energia-electricidade/1168567-1728.html> (21/09/2012);
- [6] THE WORLD BANK – *Electric power consumption*, <http://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC> (Visitado a 30/11/2012);
- [7] Da SILVA, L. - *Análise técnico/financeira de paredes exteriores em panos simples*, Dissertação para obtenção do Grau Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Setembro de 2007;
- [8] FERREIRA, F., ANTUNES, A. – *Programa EcoFamílias, Relatório Final*, Quercus, Junho de 2007;
- [9] Decreto-Lei n.º 80/2006, Diário da República (I Série-A), 4 de Abril de 2006;
- [10] AELENEI, D. - *RCCTE “light”*, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Maio de 2009;
- [11] Directiva 2010/31/EU, Jornal Oficial da União Europeia, 19 de Maio de 2010;
- [12] Decreto-Lei n.º 78/2006, Diário da República (I Série-A), 4 de Abril de 2006;
- [13] Decreto-Lei n.º 79/2006, Diário da República (I Série-A), 4 de Abril de 2006;
- [14] GANHÃO, A. - *Construção Sustentável - Propostas de melhoria da eficiência energética em edifícios de habitação*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil de Construção, Faculdade de Ciência e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, 2011;
- [15] PINHEIRO, M. – *Construção sustentável – Mito ou Realidade?*, VII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, 6 e 7 de Novembro de 2003, Lisboa;
- [16] PINHEIRO, M. – *Liderar pelo ambiente na procura da sustentabilidade, Apresentação sumária do sistema de avaliação voluntário da sustentabilidade da construção*, Instituto Superior Técnico, Maio de 2009;

- [17] COSTA, G. – *A contribuição dos sistemas solares térmicos e fotovoltaicos para o balanço energético dos edifícios residenciais unifamiliares*, Faculdade de Ciências e Tecnologia – Universidade Nova de Lisboa, Julho de 2012;
- [18] VELUX - VELUX Company Ltd., <http://www.velux.com/> (27/08/2012);
- [19] VELUX - *Home for Life 2020, Buildings of the future from 2009 to 2011*, VELUX, Denmark, 2011;
- [20] VELUX - *Issue 13 Indoor Climate*, Daylight & Architecture Magazine, Spring 2010;
- [21] VELUX - *Experiment #1 Home for Life*, Model Home 2020, Aarhus, Dinamarca, http://www.velux.com/SiteCollectionDocuments/_PDF-Documents/ModelHome%202020/Model_Home_2020_Home_for_Life.pdf?brochurepoints=0 (27/08/2012);
- [22] HANSEN, E., GYLLING, G. - *The Window, a Poetic Device and Technical Tool to Improve Life in Energy Positive Homes, a Case Study of an Active House*, in SB11 Helsinki World Sustainable Building Conference, Denmark, 2011;
- [23] ECOTECH 21 – *Active rather than passive*, http://www.activehouse.info/sites/ah7.omega.oitudv.dk/files/et21-10-activehouse20_et11-28-heilbronn_2.pdf (06/09/2012);
- [24] VELUX – *Home for Life brochure*, [http://www.velfac.dk/velfac/download.nsf/web_all/5B66C82FD4EDF091C12578940038B80F/\\$file/Home_for_life_web.pdf](http://www.velfac.dk/velfac/download.nsf/web_all/5B66C82FD4EDF091C12578940038B80F/$file/Home_for_life_web.pdf) (27/08/2012);
- [25] VELUX – *Building a Model Company*, VELUX, Dinamarca, 2012;
- [26] YOUTUBE - http://www.youtube.com/watch?v=hUjk_IBYW2o (06/09/2012);
- [27] STOICHKOVA, K., VALEVA, B. – *Active houses, Buildings that give more than they take*, Bachelor of Architectural Technology and Construction Management, VIA University College Denmark, October 2010;
- [28] GREENFAB – *RuralZED: A Zero Carbon Kit House by ZEDfactory*, <http://www.greenfab-media.com/category-prefab/557/ruralzed-a-zero-carbon-kit-house-by-zedfactory> (08/09/2012);
- [29] DEPARTMENT FOR COMMUNITIES AND LOCAL GOVERNMENT – *Code for Sustainable Homes – A step-change in sustainable home building practice*, Communities and Local Government, London, December 2006;
- [30] ZEDFACTORY - *RuralZED, the zero carbon house is ready*, http://www.ruralzed.com/100225_lrg_brochure.pdf (08/09/2012);

- [31] ZEDFACTORY - *The zero carbon house is ready, what's included*, http://www.ruralzed.com/ruralZED_spec.pdf (08/09/2012);
- [32] ZEDFACTORY - *The road to zero carbon*, <http://www.ecostrust.org.uk/jcms/images/stories/pdf/conference/BillDunsterZEDFactory.pdf> (08/09/2012);
- [33] ZEDFACTORY - *Micro-Generation*, <http://www.zedfactory.com/microgeneration.pdf> (08/09/2012);
- [34] DPS - *The solution for multi-fuel heating*, <http://www.heatweb.com/Xcel.pdf> (15/11/2012);
- [35] DPS - *ZedStore District Heat Bank*, <http://www.heatweb.com/pdf/DPS/ZedStoreDistrict.pdf> (15/11/2012);
- [36] ZEDFACTORY - *RuralZED changes the rules on choosing a new home*, http://www.ruralzed.com/RuralZED%20projects_email.pdf (08/09/2012);
- [37] LAZARUS, N. - *Beddington Zero (Fossil) Energy Development, Construction Materials Report, Toolkit for Carbon Neutral Developments – Part 1*, BioRegional Development Group, London, October 2003;
- [38] LAZARUS, N. - *BedZED: Toolkit Part II, A practical guide to producing affordable carbon neutral developments*, BioRegional Development Group, London, December 2002;
- [39] HODGE, J.; HALTRECHT, J. - *BedZED seven years on, The impact of the UK's best known eco-village and its residents*, BioRegional Development Group, London, July 2009;
- [40] SOLARIPEDIA - *BedZED Works Towards Zero Energy (UK)*, http://www.solaripedia.com/13/299/3357/bedzed_cutaway_illustration.html (13/09/2012);
- [41] LAZARUS, N. - *BedZED: Toolkit Part I, A guide to construction materials for carbon neutral developments*, BioRegional Development Group, London, December 2002;
- [42] GAVIN, K. - *Built Fabric & Building Regulations, Background material F, 40% House Project*, Environmental Change Institute – University of Oxford, March 2005;
- [43] WIKIPÉDIA – *Sedum*, <http://pt.wikipedia.org/wiki/Sedum> (13/09/2012);
- [44] BIOREGIONAL - *General Information Report 89, BedZED – Beddington Zero Energy Development*, Sutton, March 2002;
- [45] STASHPOKET - *Solarsiedlung Freiburg | Rolf Disch*, <http://stashpocket.wordpress.com/2008/01/12/solarsiedlung-freiburg-rolf-disch/> (18/09/2012);
- [46] HEINZE, M.; VOSS, K. - *Goal: Zero Energy Building, Exemplary Experience Based on the Solar Estate Solarsiedlung Freiburg am Schlierberg*, Journal of Green Building, Germany, Volume 4, Number 4, págs. 1 à 8, 2009;

- [47] MESTRE, A. - *Estratégias de projecto bioclimático em centros comerciais*, Dissertação para a obtenção do Grau de Mestrado em Arquitectura, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2012;
- [48] LANHAM, A., GAMA, P.; BRAZ, R. - *Arquitectura Bioclimática, Perspectivas de inovação e futuro*, Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2004;
- [49] EXAMINER – *The basics of solar site orientation*, <http://www.examiner.com/article/the-basics-of-solar-site-orientation> (20/09/2012);
- [50] ROCHETA, V., FARINHA, F. – *Práticas de projecto e construtivas para a construção sustentável*, 3º Congresso de construção, Coimbra, 2007;
- [51] ISOLANI, P. – *Eficiência energética nos edifícios residenciais – Manual do Consumidor*, Defesa do Consumidor, Lisboa, Maio de 2008;
- [52] MENDONÇA, P. - *Habitar sob uma segunda pele. Estratégias para a Redução do Impacto Ambiental de Construções Solares Passivas em Climas Temperados*, Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2005;
- [53] LIMA, M. – *Armazenamento de energia térmica em componentes de edifícios sobre os quais incide radiação solar directa*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1995;
- [54] SANTOS, C., MATIAS, L. - *ITE 50 - Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envoltura dos Edifícios*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 2006;
- [55] GOMES, J., RODRIGUES, A. - *Análise do ciclo de vida das caixilharias: um estudo comparativo*, Caixiave – Indústria de Caixilharia, S.A., Instituto Superior Técnico, Lisboa;
- [56] AMADO, M. – *Planeamento Urbano Sustentável*, Caleidoscópio Edição e Artes Gráfica SA, ISBN: 972-8801-74-2, Portugal;
- [57] MENDÃO, J. – *Sistema ETICS – Influência no comportamento térmico dos edifícios – Um Caso de Estudo*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Ciência e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Maio de 2011;
- [58] ISOLANI, P., et al.- *Eficiência energética nos edifícios residenciais, Manual do Consumidor*, DECO, Lisboa, 2008;
- [59] FORUM CASA – *Construir, remodelar, reparar ou equipar a casa ou imóvel: Portada em fole*, <http://forumdacasa.com/discussion/17948/portada-em-fole/> (26/11/2012);
- [60] PORTAL SÃO FRANCISCO - *Arquitectura Bioclimática*, <http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/arquitetura-bioclimatica/arquitetura-bioclimatica-7.php> (21/09/2012);

- [61] PORTAL ENERGIA – *Um potencial desaproveitado*, <http://www.portal-energia.com/um-potencial-desaproveitado/> (26/11/2012);
- [62] GOOGLE IMAGENS - <http://images.google.pt/> (Visitado a 26/11/2012);
- [63] ENAT – *Descubra a energia da natureza, Catálogo 2012*, ENAT - Energias Naturais, 2012;
- [64] ADENE - *Nota técnica NT-SCE-01 - Método de cálculo para a certificação energética de edifícios existentes no âmbito do RCCTE*, Agência para a Energia, Portugal, 2008;
- [65] DGGE - *Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial*, Lisboa, Direcção Geral de Energia e Geologia, 2004;
- [66] PROENÇA, E. – *A energia solar fotovoltaica em Portugal, Estado-da-Arte e Perspectivas de Desenvolvimento*, Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Superior Técnico, Agosto de 2007;
- [67] AMADO, M.; POGGI, F. - *Towards Solar Urban Planning: a new step for better energy performance*, Energy Procedia 30 (2012) 1261-1273, DOI: 10.1016/j.egypro.2012.11.139;
- [68] FINSTRAL – *Porta de correr elevadora*, <http://www.finstral.com/web/pt/Janelas-e-Portas/PVC/Porta-de-correr-elevadora/-Porta-de-correr-elevadora-U1257490886146U.html> (30/11/2012);

ANEXOS

ANEXO I

COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DO MODELO 1 – TIPIFICAÇÃO DA CONSTRUÇÃO PORTUGUESA

Modelo 1 - Pavimento térreo da zona comum					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Pavimento em tacos de madeira leve	0,01	0,15	0,07	3,33	Página I.7 ITE 50/ LNEC
Betonilha de regularização	0,05	0,85	0,06		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Massame armado	0,15	2,00	0,08		Página I.3 ITE 50/ LNEC
Camada de enrocamento	0,20	2,00	0,10		Página I.9 ITE 50/ LNEC

Modelo 1 - Pavimento térreo da zona técnica					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Ladrilho cerâmico	0,01	1,30	0,01	4,14	Página I.4 ITE 50/ LNEC
Betonilha de regularização	0,05	0,85	0,06		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Massame armado	0,15	2,00	0,08		Página I.3 ITE 50/ LNEC
Camada de enrocamento	0,20	2,00	0,10		Página I.9 ITE 50/ LNEC

Modelo 1 - Pavimento entre pisos da zona comum					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Pavimento em tacos de madeira leve	0,01	0,15	0,07	4,20	Página I.7 ITE 50/ LNEC
Betonilha de regularização	0,05	0,85	0,06		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Betão armado	0,15	2,00	0,08		Página I.3 ITE 50/ LNEC
Estuque tradicional	0,015	0,40	0,04		Página I.6 ITE 50/ LNEC

Modelo 1 - Pavimento entre pisos da zona técnica					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Ladrilho cerâmico	0,01	1,30	0,01	5,59	Página I.4 ITE 50/ LNEC
Betonilha de regularização	0,05	0,85	0,06		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Betão armado	0,15	2,00	0,08		Página I.3 ITE 50/ LNEC
Estuque tradicional	0,015	0,40	0,04		Página I.6 ITE 50/ LNEC

Modelo 1 - Caracterização da cobertura plana					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Reboco tradicional	0,02	1,30	0,02	4,07	Página I.7 ITE 50/ LNEC
Camada de forma	0,10	0,85	0,12		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Betão armado	0,15	2,00	0,08		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Estuque tradicional	0,015	0,40	0,04		Página I.6 ITE 50/ LNEC

Modelo 1 - Caracterização da parede exterior					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Reboco tradicional	0,02	1,30	0,02	1,75	Página I.7 ITE 50/ LNEC
Alvenaria de tijolo furado de 22 cm	0,22	--	0,52		Página I.12 ITE 50/ LNEC
Estuque tradicional	0,015	0,40	0,04		Página I.6 ITE 50/ LNEC

ANEXO II

COEFICIENTES DE TRANSMISSÃO TÉRMICA DO MODELO 2 – APLICAÇÃO DAS MEDIDAS ADOPTADAS

Modelo 2 - Pavimento térreo da zona comum					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Pavimento flutuante	0,005	0,13	0,04	0,53	Página I.7 ITE 50/ LNEC
Betonilha de regularização	0,05	0,85	0,06		Página I.5 ITE 50/ LNEC
XPS	0,06	0,037	1,62		Página I.3 ITE 50/ LNEC
Massame armado	0,15	2,00	0,08		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Camada de enrocamento	0,20	2,00	0,10		Página I.9 ITE 50/ LNEC

Modelo 2 - Pavimento térreo da zona técnica					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Ladrilho cerâmico	0,01	1,30	0,01	0,54	Página I.4 ITE 50/ LNEC
Betonilha de regularização	0,05	0,85	0,06		Página I.5 ITE 50/ LNEC
XPS	0,06	0,037	1,62		Página I.3 ITE 50/ LNEC
Massame armado	0,15	2,00	0,08		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Camada de enrocamento	0,20	2,00	0,10		Página I.9 ITE 50/ LNEC

Modelo 2 - Pavimento entre pisos da zona comum					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Pavimento flutuante	0,005	0,13	0,04	4,83	Página I.7 ITE 50/ LNEC
Betonilha de regularização	0,05	0,85	0,06		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Betão armado	0,15	2,00	0,08		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Estuque projectado	0,015	0,43	0,03		Página I.6 ITE 50/ LNEC

Modelo 2 - Pavimento entre pisos da zona técnica					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Ladrilho cerâmico	0,01	1,30	0,01	5,67	Página I.4 ITE 50/ LNEC
Betonilha de regularização	0,05	0,85	0,06		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Betão armado	0,15	2,00	0,08		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Estuque projectado	0,015	0,43	0,03		Página I.6 ITE 50/ LNEC

Modelo 2 - Pavimento entre pisos em contacto com zona não aquecida					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Pavimento flutuante	0,005	0,13	0,04		Página I.7 ITE 50/ LNEC
Betonilha de regularização	0,05	0,85	0,06		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Betão armado	0,15	2,00	0,08	0,56	Página I.5 ITE 50/ LNEC
XPS	0,06	0,037	1,62		Página I.3 ITE 50/ LNEC
Reboco tradicional	0,01	1,30	0,01		Página I.7 ITE 50/ LNEC

Modelo 2 - Caracterização da cobertura plana					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Seixo rolado	0,08	2,00	0,04		Página I.9 ITE 50/ LNEC
XPS	0,06	0,037	1,62		Página I.3 ITE 50/ LNEC
Camada de forma	0,10	0,85	0,12	0,53	Página I.5 ITE 50/ LNEC
Betão armado	0,15	2,00	0,08		Página I.5 ITE 50/ LNEC
Estuque projectado	0,015	0,43	0,03		Página I.6 ITE 50/ LNEC

Modelo 2 - Caracterização da parede exterior com sistema ETICS					
Elemento	e (m)	λ (W/m.°C)	R (m ² .°C/W)	U (W/m ² .°C)	Referência
Reboco tradicional	0,01	1,30	0,01		Página I.7 ITE 50/ LNEC
XPS	0,06	0,037	1,62		Página I.3 ITE 50/ LNEC
Alvenaria de tijolo de 25	0,25	--	0,56	0,45	Página I.12 ITE 50/ LNEC
Estuque projectado	0,015	0,43	0,03		Página I.6 ITE 50/ LNEC